МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

Г. А. ТКАЧЕНКО

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ



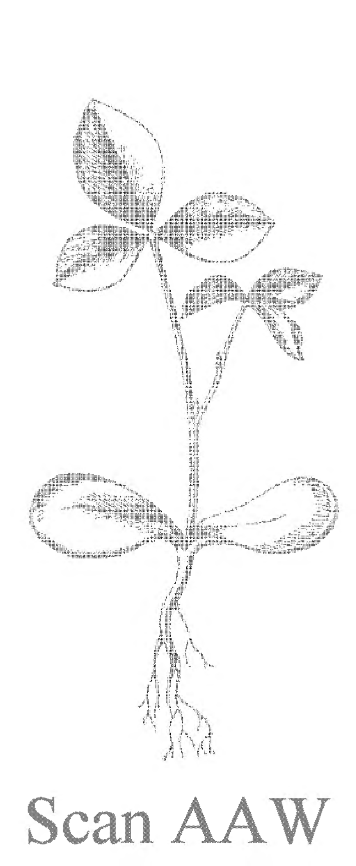
МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 881

Г. А. ТКАЧЕНКО

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1975

6Ф2.12
Т 48
УДК 621.396.62

Ткаченко Г. А.

Т 48 Конструирование транзисторных приемников прямого усиления. М., «Энергия», 1975.

64 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 881)

Рассматриваются вопросы испытания и отработки уже выбранной схемы на макете, выбор элементов конструкции, компоновка, составление монтажной схемы, монтаж и налаживание приемников прямого усиления. Особое внимание уделено обеспечению возможности внесения изменений в готовый приемник.

Книга рассчитана на радиолюбителей, приступающих к самостоятельному конструированию.

Т $\frac{30403\text{-}340}{051(01)\text{-}75}$ 343-75 6Ф2.12

ПРЕДИСЛОВИЕ

При самостоятельном конструировании начинающий радиолюбитель сталкивается с новыми проблемами — выбором некоторых элементов конструкции, определяющих ее оформление (источник питания, корпус и т. п.), испытанием выбранной схемы, компоновкой, составлением монтажной схемы, выбором вида монтажа. Неудачное решение этих проблем приводит к неудовлетворительной работе приемника, эксплуатационным недостаткам, а часто к потере веры в свои силы.

У любого конструктора после окончательного изготовления приемника созревают новые решения, но изменить уже полностью собранную конструкцию обычно бывает очень трудно, разбирать действующий приемник полностью (для реконструкции) или делать заново другой также нелегко. Выходом из этого положения является создание такой конструкции, которая заранее предусматривает возможность вносить изменения в схему и даже заменять ее всю сразу или по частям, сохраняя приемник «на ходу».

В предлагаемой книге дается обзор наиболее употребительных в любительской практике способов компоновки и монтажа приемников, подробно рассматриваются процессы макетирования, выбора элементов схемы и конструкции, составления монтажной схемы, а также монтажа с учетом возможности последующей модернизации. Рассматриваемые принципы конструирования вполне применимы и к другой любительской аппаратуре на транзисторах.

Автор

ЭЛЕМЕНТЫ СХЕМЫ

ТРАНЗИСТОРЫ

Выбор транзисторов. Транзисторы, применяемые в приемниках, прежде всего можно разделить на высоко- и низкочастотные. К высокочастотным относятся транзисторы с предельной частотой усиления по току более 3 Мгц. Чем выше предельная частота усиления транзистора относительно максимальной рабочей, тем больше и равномернее усиление апериодического усилителя (без учета неравномерности сопротивления индуктивных нагрузок) в рабочей полосе частот, но тем больше усиление и более высоких частот, вне этой полосы. Это может привести к самовозбуждению усилителя и к повышению его собственных шумов, которые в широкополосном усилителе «собираются» со всей полосы усиливаемых частот, а не только с рабочей. Для сравнительно высокого усиления необходимо, чтобы предельная частота усиления транзистора была выше максимальной рабочей не менее чем в 20 раз для ДВ- и СВ-диапазонов (П401, П402, П422), а для хорошей равномерности усиления во всей полосе частот при активном сопротивлении нагрузок транзисторов — в 100 раз (ГТ322, ГТ313, ГТ308). Для повышения усиления на высших частотах следует применять индуктивную нагрузку — дроссели и трансформаторы с собственной резонансной частотой вблизи верхней рабочей частоты усилителя. Транзисторы с малым коэффициентом усиления дают хотя и меньшее, но более равномерное в широкой полосе частот усиление. Для повышения устойчивости к самовозбуждению каскадов с индуктивной нагрузкой в них предпочтительно применять транзисторы с минимальной емкостью коллекторного перехода (например, ГТ322).

Низкочастотные транзисторы разделяются по максимально допустимой мощности, рассеиваемой коллектором. Для предварительных каскадов усиления пригодны маломощные транзисторы практически любых типов (МП39—МП42, МП35—МП38, МП20, МП25, МП26), в том числе и высокочастотные (П401, П402), максимально допустимое напряжение на коллекторе которых выше напряжения питания, обычно равного 4—9 *в*. В каскадах с трансформаторным выходом и высоким уровнем сигнала (предвыходных и выходных) необходимо применять транзисторы с максимально допустимым напряжением в 1,5—2 раза более высоким, чем напряжение питания, так как общее напряжение на коллекторе складывается из постоянного напряжения питания и амплитудного напряжения низкой частоты. Мощные транзисторы (П213—П217) при малых токах работают нестабильно и дают малое усиление.

В выходных каскадах применяются транзисторы, максимально допустимый ток коллектора и максимально допустимая мощность

рассеивания которых превышают средние значения действующих в схеме тока и выходной мощности не менее чем в 1,5 раза. Кроме того, не должна превышаться максимально допустимая величина обратного напряжения на эмиттерном переходе. В двухтактных трансформаторных каскадах к этому переходу в нерабочий период прикладывается сравнительно высокое обратное напряжение (несколько вольт), которое запирает транзистор, поэтому здесь могут применяться сплавные низкочастотные транзисторы, указанные выше, а также ГТ402—ГТ404, П213—П215 со сравнительно высоким допустимым обратным напряжением на эмиттере. В бестрансформаторных усилителях переходные процессы не сопровождаются большим запирающим напряжением, поэтому в таких каскадах можно применять более высокочастотные транзисторы, имеющие малое допустимое обратное напряжение, например П601—П606, КТ601—КТ605, КТ801—КТ805 и др.

В двухтактных каскадах необходимо применять транзисторы с возможно более близкими значениями усиления во всем рабочем диапазоне токов, частот и температур, что требует и близости обратных токов коллектора. Если в схеме не приняты специальные меры, то допустимым считается различие этих параметров не более чем на 20%.

Для любых мощных каскадов следует подбирать транзисторы с минимальной зависимостью усиления от тока коллектора, т. е. от амплитуды сигнала, иначе с увеличением динамического диапазона (отношения максимального сигнала к минимальному) будут увеличиваться и искажения. Наилучшими в этом отношении являются транзисторы ГТ402—ГТ404. Зависимость параметров транзистора от тока обычно приводится в справочниках.

Чувствительность широкополосных усилителей как низкой, так и высокой частоты ограничивается в значительной мере их собственными шумами, особенно шумами первого каскада. Кроме схемных и режимных методов уменьшения шума большое значение имеет выбор первого транзистора с этой точки зрения. Специальные низкочастотные малошумящие транзисторы (П13Б, П27, П27А, П28, П39Б, ГТ108Б, ГТ109Б) могут быть заменены высокочастотными диффузионными (например, П401—П423, а еще лучше малошумящими ГТ322), которые на низкой частоте дают меньше шумов, чем сплавные. Косвенным признаком малого уровня шумов является малая величина обратного тока коллектора $I_{к0}$.

Величина $I_{к0}$ является также мерой температурной стабильности транзистора. поэтому чем хуже схемная стабилизация режима транзистора и чем выше требования к термостабильности, тем меньше должен быть обратный ток.

Одной из важнейших характеристик транзистора является коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером. Коэффициент усиления по постоянному току обозначается символом B, по току низкой частоты (когда параметры транзистора не зависят от частоты) β, а по току высокой частоты $|\beta|$, т. е. абсолютной величиной, модулем β. Практически величины B и β хотя и не равны, но достаточно близки, а величина $|\beta|$ сильно зависит от частоты. На частотах, близких к предельным, $|\beta|$ обратно пропорционален рабочей частоте. Величина коэффициента усиления транзистора отражается на коэффициенте усиления каскада скорее косвенно, чем прямо. Входное сопротивление транзистора, обратно пропорциональное току базы, уменьшается с уменьшением коэффициента усиления тран-

зистора и сильнее шунтирует нагрузку предыдущего каскада или входной контур, уменьшая усиление этого каскада.

Отсюда ясно, что транзисторы с большим коэффициентом усиления ($\beta > 60 \div 80$) выгодно применять там, где требуется высокое входное сопротивление, например после резонансного контура, после каскада с высоким сопротивлением нагрузки. Если же выходное сопротивление предыдущей части схемы невелико (например, каскад по схеме с общим коллектором) или можно произвести согласование

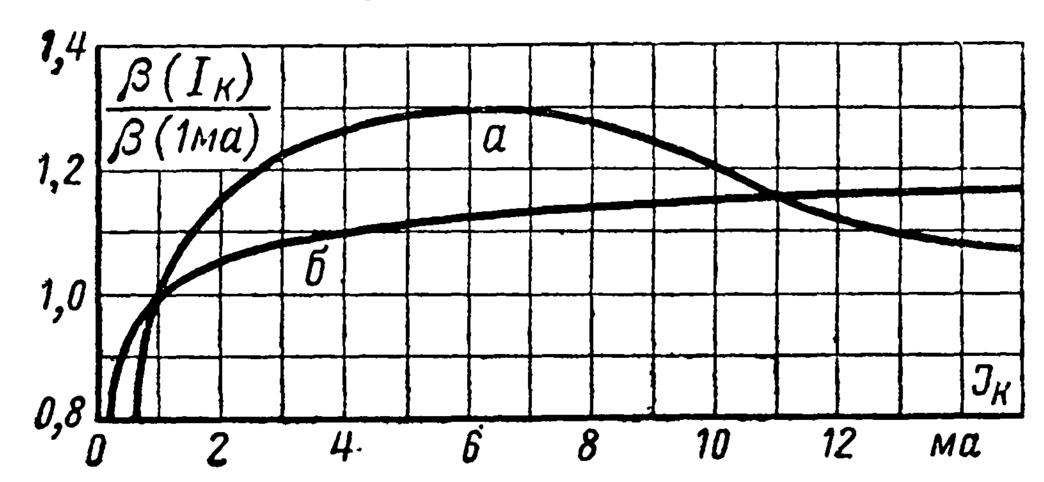


Рис. 1. Зависимость β от тока коллектора (β при $I_к = 1$ *ма* принят за 1); *а* — сплавных транзисторов; *б* — для диффузионных.

сопротивлений (в трансформаторных схемах), то можно использовать транзисторы с малым усилением — они обеспечивают более стабильное и равномерное усиление в широкой полосе частот, более доступны. В усилителях без согласования выходных и входных сопротивлений (по схеме с общим эмиттером на резисторах) лучше применять транзисторы со средним коэффициентом усиления ($\beta = 40 \div 60$). Причем при более высоком напряжении питания (9—12 *в*), когда можно увеличить сопротивление резистора коллекторной нагрузки предыдущего каскада, более выгодно применять в следующем каскаде транзистор с несколько бо́льшим усилением, чем при низком напряжении. Применение транзистора с высоким усилением здесь не дает преимуществ — входное сопротивление транзистора должно быть меньше сопротивления нагрузки предыдущего каскада.

Простейшие испытания транзисторов. Большинство любительских схем испытателей транзисторов предусматривает измерение коэффициента усиления по постоянному току (B) по величине тока коллектора при постоянном значении тока базы, т. е. не в том режиме, в котором транзистор будет работать в реальной схеме. Поскольку в режиме малых токов B сильно зависит от тока коллектора (рис. 1), то измеренное таким способом значение будет существенно отличаться от реального, особенно для транзисторов с малым усилением. Предпочтительнее задаваться током коллектора, а измерять соответствующий ему ток базы.

Одна из практических схем испытателя *р-п-р* транзисторов показана на рис. 2. В качестве измерителя используется авометр. Вначале движок потенциометра R_2 устанавливают в нижнее по схеме положение, авометр — на измерение минимальных токов. Авометр включают в коллекторную цепь параллельно диодам $Д_1$ и $Д_2$, которые предохраняют измеритель от перегрузки при испытании транзистора с пробитым коллекторным переходом или при неправильном включении.

При подключении к прибору транзистор нельзя держать пальцами, так как его параметры при нагревании существенно изменятся. Если транзистор все же нагрелся, необходимо выждать до начала измерения 1—2 *мин.* После включения батареи при отключенном эмиттере измеритель покажет обратный ток коллектора $I_{к0}$. У исправных маломощных германиевых транзисторов $I_{к0}$ должен быть не более 30 *мка*, у кремниевых — 1 *мка.* Затем присоединяют эмиттер, авометр переключают на диапазон, соответствующий желаемому току коллектора, и потенциометром R_2 устанавливают этот ток. Далее авометр отключают от коллекторной цепи (ток будет проходить через диоды), переводят на диапазон минимального тока и включают в разрыв базовой цепи вместо R_3, сопротивление которого равно сопротивлению измерителя. Для удобства такого переключения одно гнездо базовой цепи можно снабдить контактом, разрывающим цепь при вставлении щупа. В таком положении измеряется ток базы, соответствующий установленному току коллектора (движок потенциометра не сдвигается). Отношение коллекторного тока за вычетом $I_{к0}$ к базовому и будет равно коэффициенту усиления транзистора в выбранной рабочей точке.

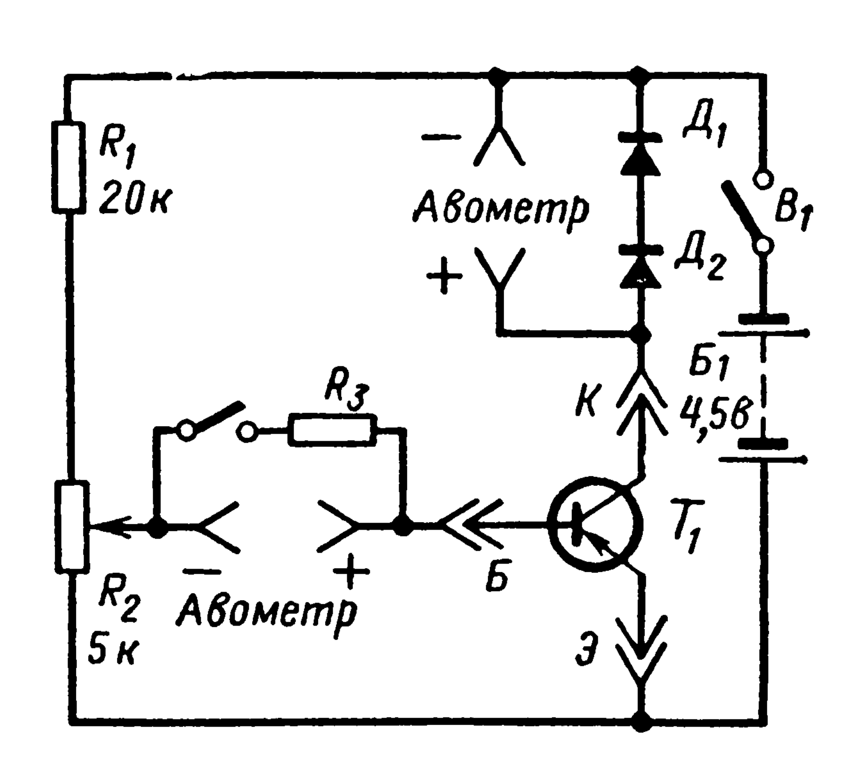


Рис. 2. Схема приставки к авометру для испытания транзисторов.

Полупроводниковый кристалл при прохождении тока нагревается, но при малом токе и сравнительно массивном металлическом корпусе с большой поверхностью теплоотдачи это нагревание практически не отражается на параметрах транзистора. В пластмассовом корпусе, как, например, у транзисторов КТ315, рассеивание этого тепла затруднено, кристалл нагревается сильнее и параметры транзистора меняются заметно. Во время испытания такого транзистора стабильный режим устанавливается не сразу, а спустя несколько минут, в зависимости от скорости установления теплового равновесия, что не является признаком плохого качества. Если же у транзистора любого типа коллекторный ток при неизменном базовом не устанавливается в течение 2—3 *мин*, то такой транзистор непригоден к использованию в обычных схемах — его режим будет очень нестабильным и он может являться источником сильного шума.

Сопротивление резистора R_3 подбирается следующим образом. Собирается цепь из последовательно соединеных батарей, переменного резистора с сопротивлением, обеспечивающим ток полного отклонения стрелки авометра на данной шкале, второго переменного резистора с сопротивлением около 5 *ком* и авометра. Второй резистор полностью выводится (его сопротивление минимально). Первым потенциометром стрелка устанавливается на последнее деление шкалы. Далее вторым резистором ток через прибор уменьшается ровно вдвое, в этом случае их сопротивления равны. Диоды подбирают

с таким расчетом, чтобы они шунтировали прибор только при увеличении тока сверх предельного по рабочей шкале. Предпочтительно использовать кремниевые плоскостные диоды с малым прямым сопротивлением, например Д226Б—Д226Д. В зависимости от характеристик диодов и сопротивления прибора (которое может быть увеличено включенным последовательно дополнительным резистором) число диодов может быть изменено.

При испытании транзисторов структуры *n-p-n* полярность батареи, диодов и авометра необходимо изменить на обратную.

ДИОДЫ

При выпрямлении высокочастотного тока (детектировании) важно, чтобы прямое сопротивление диода было значительно меньше сопротивления нагрузки, а обратное — значительно больше, иначе большая часть выпрямленного напряжения будет теряться на самом диоде. И то, и другое сопротивление зависит от приложенного напряжения, поэтому выбор диодов удобнее всего производить по их характеристикам, обычно приводимым в справочниках. Если нет графического изображения характеристик, можно ориентироваться на такие параметры диодов, как прямой ток при определенном напряжении (обычно 1 *в*) или падение напряжения при определенном выпрямленном токе, а также на наибольшую амплитуду обратного напряжения. Чем больше прямой ток при одном и том же напряжении или чем меньше падение напряжения при равном токе, тем меньше прямое сопротивление диода и тем круче поднимается его вольт-амперная характеристика. Чем выше допустимая амплитуда обратного напряжения, тем больше обратное сопротивление диода в данной группе. Например, в группе диодов Д9 наибольший прямой ток у диодов Д9Б составляет 90 *ма*, а наименьший — у диодов Д9А, Д9В, Д9Ж 10 ма. Наибольшая амплитуда обратного напряжения у Д9Ж и Д9Л 100 *в*, а наименьшая у Д9А и Д9Б 10 *в*.

Кремниевые диоды обычно имеют более высокое прямое сопротивление.

Отбор наиболее подходящего диода из числа имеющихся можно произвести при помощи омметра, измеряя прямое сопротивление на шкале наименьших сопротивлений, а обратное — на шкале наибольших сопротивлений. Измеренное сопротивление имеет лишь относительное значение, так как зависит от условий измерения — например, температуры и особенно от протекающего тока. Например, диоды Д9Б при измерении прибором Ц20 показывают прямое сопротивление 15—27 *ом*, Д9Ж 30—70 *ом*, а обратное 50—500 *ком*.

Усилительные каскады по схеме с общим эмиттером обычно имеют невысокое входное сопротивление — менее 2 *ком*, поэтому практически любой исправный диод подходит по обратному сопротивлению для работы в детекторном каскаде, а от величины прямого сопротивления при малом напряжении (особенно при слабом сигнале и без смещения постоянным током) работа детектора зависит довольно заметно. Поэтому для детекторного каскада предпочтительнее применять диод с малым прямым сопротивлением и с возможно более крутой характеристикой. Если первый каскад УНЧ имеет сильную отрицательную обратную связь по току (резистор в цепи эмиттера), то следует обратить внимание и на обратное сопротивление диода — оно должно быть не менее 200 *ком*.

Проходная емкость диодов шунтирует их обратное сопротивление и ограничивает рабочий диапазон частот. У точечных диодов она

мала (менее 2 *пф*) и на диапазонах ДВ, СВ практически не сказывается, но у плоскостных диодов достигает сотен пикофарад, поэтому они не применяются для детектирования.

Для диодов, используемых в качестве стабилизаторов напряжения, обратное сопротивление значения не имеет. Перед выбором диода для этой цели необходимо задаться границами изменения исходного напряжения и допустимого отклонения стабилизованного напряжения, а также током нагрузки стабилизатора. Диод должен быть рассчитан на протекание тока, обеспечивающего падение напряжения на гасящем сопротивлении стабилизатора от максимального для данного источника питания до стабилизируемого, за вычетом тока нагрузки; при этом напряжение на диоде не должно превышать верхнего предела стабилизируемого напряжения. При минимальном напряжении питания через диод должен протекать ток, соответствующий минимальному напряжению стабилизации. Таким образом, определяются возможные типы диода (по допустимому току) и две важнейшие точки его характеристики. По этим данным и приведенным в справочниках характеристикам можно подобрать наиболее подходящий тип диода, причем чем круче поднимается вольт-амперная характеристика диода, тем меньше колебания стабилизованного напряжения. Конечно, диоды одного типа могут иметь заметный разброс параметров, при необходимости точного подбора напряжения он осуществляется экспериментально.

Для приближенной оценки полезно заметить, что наименьшее напряжение стабилизации могут обеспечить плоскостные силовые германиевые диоды, затем такие же кремниевые, микросплавные кремниевые и точечные германиевые и, наконец, точечные кремниевые. Еще большее напряжение, более 3,3 *в*, стабилизируют специальные кремниевые диоды-стабилизаторы. Специально для цели стабилизации выпускают также селеновые диоды 7ГЕ1А-С и 7ГЕ2А-С. Для повышения напряжения стабилизации можно соединять диоды последовательно.

При использовании диода в качестве управляемого напряжением резистора важное значение имеет отношение его сопротивлений в закрытом и открытом состоянии. Требуются повышенное обратное сопротивление, высокая крутизна характеристики при малом напряжении и минимальная проходная емкость. Для этой цели лучше всего подходят микросплавные кремниевые диоды, а также точечные германиевые и кремниевые, причем при отборе германиевых диодов большее внимание следует обратить на обратное, а у кремниевых — на прямое сопротивление при напряжении, близком к нулю.

В цепях постоянного тока — диодных предохранителях от неправильного включения батареи и фильтрах предпочтительно применять диоды с минимальным прямым сопротивлением для уменьшения потери напряжения и внутреннего сопротивления источника питания; обратные сопротивления диодов в этих цепях несущественны.

Во всех перечисленных случаях с успехом могут быть применены транзисторы в диодном включении. Один и тот же транзистор допускает четыре варианта включения с получением существенно различных диодных характеристик: минимальное прямое сопротивление и максимальную крутизну характеристики дает включение: коллектор вместе с базой — эмиттер, затем эмиттер с базой — коллектор, база — эмиттер и база — коллектор. В первых двух вариантах прямое сопротивление уменьшается из-за усиления тока базы в цепи коллектора — эмиттера. При использовании транзистора нельзя забывать

о проходных емкостях переходов и о максимально допустимых режимах по напряжению и току; особенно чувствительны к обратному напряжению эмиттерные переходы высокочастотных транзисторов.

КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Катушки резонансных контуров. От катушки резонансного контура, обеспечивающего избирательность приемника, прежде всего требуется минимум потерь на резонансной частоте — высокая добротность Q (отношение реактивного сопротивления катушки к ее активному на той же частоте). Потери энергии в катушке складываются из потерь в проводе, в сердечнике и в изоляционных материалах.

Сопротивление провода существенно увеличивается с повышением частоты из-за вытеснения высокочастотного тока его же собственным электромагнитным полем из глубины проводника на поверхность. По этой причине катушки СВ-диапазона предпочтительно наматывать проводом, свитым из нескольких жилок тонкого изолированного (эмалированного) провода — литцендрата. Суммарная поверхность этих жилок больше, чем поверхность одного проводника равного сечения, поэтому сопротивление высоким частотам уменьшается. На СВ-диапазоне выигрыш в добротности за этот счет может достичь 100%, в зависимости от числа и диаметра жилок. Иногда многожильный провод имеет шелковую или капроновую оплётку. Многожильный провод можно изготовить самостоятельно, свив вместе 3—10 жилок эмалированного провода диаметром 0,05—0,08 *мм*. Скручивание их должно быть минимально возможным для обеспечения цельности жгута — один оборот на 20—30 *мм* длины. При изготовлении такого провода и катушек из него нельзя касаться его голыми руками, так как даже следы пота и кожного жира заметно ухудшают качество катушки, а кроме того, они способствуют разрушению изоляции и самой жилы столь тонких проводников.

Средневолновые катушки имеют сравнительно мало витков (70—100), поэтому их обычно наматывают в один слой, закрепляя крайние витки нитками или клеем. При пайке многожильного провода очень важно пропаять все жилки, иначе (или при обрыве одной из них) добротность катушки значительно упадет. Если однослойная катушка намотана с шагом более 1,5 *мм*, то марка провода не имеет существенного значения.

На ДВ-диапазоне многожильный провод обычно не применяется, так как при большом количестве витков (250—350) катушка получается слишком громоздкой, выигрыш в добротности на более низкой частоте не так велик, а необходимая избирательность достигается за счет высокого отношения индуктивности контура к его емкости. Катушки этого диапазона наматываются проводом ПЭЛШО 0,1—0,12 или эмалированным: они чаще всего бывают многослойными. Такие катушки лучше наматывать секциями: вдоль каркаса укладывают три нитки средней толщины, поверх них наматывают внавал, но компактно 25—30 витков провода, затем нитки равномерно распределяют по окружности и завязывают, плотно стягивая секцию. Так же наматывают и другие секции. Изменяя затем расстояние между секциями и отматывая витки из дополнительной секции, легко подогнать индуктивность катушки. Намотка секциями с обвязкой позволяет получить аккуратную, нерассыпающуюся катушку со сравнительно небольшой собственной емкостью. Провод без оплетки

(эмалированный) при намотке внавал создает большую собственную емкость катушки, которая, будучи подключена параллельно конденсатору настройки, существенно уменьшает перекрытие диапазона. Если позволяет длина ферритового стержня антенны, и эту катушку можно намотать в один слой, что значительно уменьшит ее емкость.

В любом случае эффективность магнитной антенны увеличивается с ростом количества витков контура при данной форме стержня. Поэтому предпочтительно уменьшать собственную емкость катушки, соответственно увеличивая индуктивность и, следовательно, количество витков, а кроме того, уменьшать индуктивность, приходящуюся на каждый виток, путем увеличения расстояния между ними.

В приемниках прямого усиления в подавляющем большинстве случаев применяется только один настраиваемый контур — магнитная антенна. Ее основу составляет стержень из феррита с магнитной проницаемостью 400—600. Но магнитная проницаемость сердечника близка к проницаемости его материала только при тороидальной (кольцеобразной) форме, равномерной однослойной намотке и отсутствии в катушке постоянного тока, а также внешнего магнитного поля. В остальных случаях проницаемость собственно сердечника сильно зависит от его формы, конструкции катушки, магнитных полей и других причин, она всегда значительно меньше проницаемости самого материала. Сердечник магнитной антенны в зависимости от отношения его длины к площади поперечного сечения, формы катушки и ее расположения увеличивает индуктивность катушки всего в 5—12 раз, причем проницаемость самого материала сказывается сравнительно мало. Все эти зависимости и некоторые другие, более сложные, сильно затрудняют расчет катушки на нужную частоту, поэтому на практике удобнее всего выбрать количество витков антенной катушки по образцу, т. е. по опубликованному описанию приемника с наиболее подходящими размерами антенны, рабочими частотами, конденсатором настройки и т. п. В любом случае необходимо увеличить это количество витков на 10—15% для обеспечения возможности подстройки в конкретных условиях.

Материал каркаса катушки на частотах ДВ- и СВ-диапазонов сказывается не столь заметно. Каркас может быть склеен из бумаги или тонкого картона, пропитанных синтетическими клеями: полистирольным (раствором полистирола в толуоле), или шеллачным, БФ, нитроклеем. Применять водорастворимые клеи — казеиновый, декстриновый, крахмальный, а тем более силикатный (конторский) — не рекомендуется, так как все они невлагостойкие, в сыром воздухе поглощают много влаги, что является причиной нестабильности и увеличения потерь энергии. Силикатный клей, кроме того, является довольно сильной щелочью, разрушающей эмаль провода. Еще лучше применять для каркаса пленки из синтетических материалов (кроме целлофана, который невлагостоек).

Высокочастотные дроссели и трансформаторы. Высокочастотные дроссели и трансформаторы, предназначенные для работы в широком диапазоне частот, не должны иметь ярко выраженных резонансных свойств. Кроме того, они не должны создавать внешнего магнитного поля и быть чувствительными к подобным полям других элементов схемы, должны иметь минимальные размеры. Таким требованиям наиболее полно отвечают катушки, равномерно намотанные на кольцевых сердечниках без зазоров (без склеек). В этом случае для получения заданной индуктивности требуется минимальное количество витков катушки, так как магнитная проницаемость коль-

цевого сердечника очень близка к проницаемости самого материала, т. е. достигает 400—2000.

Свойства катушки с замкнутым ферромагнитным сердечником (кольцевым, броневым, Ш-образным) вообще значительно сильнее зависят от свойств самого материала сердечника, чем при незамкнутом сердечнике. Так, кольцевой сердечник из феррита с $\mu = 600$ имеет граничную частоту около 1,2 *Мгц*, а цилиндрический — до 3 *Мгц*. Значительно сильнее при замкнутом сердечнике проявляется влияние температуры и подмагничивания постоянным током. Если потери, вносимые сердечником, меньше, чем потери самой катушки, то добротность катушки с сердечником выше, чем без него, поэтому для понижения добротности широкополосных катушек применяют сердечники из материала с граничной частотой, которая ниже максимальной рабочей. Повышению равномерности сопротивления в широкой полосе частот способствует и то, что за граничной частотой не только увеличиваются потери, но и понижается проницаемость сердечника. Кольцевой сердечник с зазором (склеенный из двух и более частей), броневой (чашечный), а тем более стержневой создают значительное внешнее магнитное поле, на катушку с таким сердечником оказывают существенное влияние окружающие металлические детали, например экран.

Итак, для широкополосной катушки следует выбирать целый, несклеенный кольцевой сердечник с относительно низкой граничной частотой — для диапазона ДВ с проницаемостью около 1000, а для СВ — около 600. Обмотки на него необходимо наматывать равномерно по всей окружности, если нежелательно появление внешнего магнитного поля.

Перед намоткой катушки полезно закруглить мелкой шкуркой острые грани сердечника и покрыть его несколькими слоями лака. Для уменьшения опасности замыкания между витками и уменьшения собственной емкости катушки лучше применять провод с оплёткой (ПЭЛШО 0,1—0,12). Если необходимо ослабить емкостную связь между обмотками трансформатора, то обмотки выполняются перемежающимися секциями внавал, распределенными равномерно по всей окружности кольца. Это несколько увеличивает внешнее магнитное поле катушек, но в значительно меньшей мере, чем при намотке каждой катушки на своей части кольца.

Индуктивность катушки с кольцевым сердечником прямо пропорциональна квадрату числа витков, магнитной проницаемости и площади поперечного сечения, обратно пропорциональна среднему диаметру кольца. Точный расчет индуктивности сильно затруднен из-за неизвестности точной величины проницаемости сердечника, но приведенная зависимость дает представление о влиянии на индуктивность отдельных параметров сердечника и катушки. Если, например, сложить два одинаковых кольца, то количество витков можно уменьшить почти в полтора раза.

В любом случае использования ферритов необходимо помнить, что на их свойствах сильно отражаются механические напряжения, имевшие место даже много времени тому назад. После сильных механических воздействий (ударов) феррит может прийти в полную негодность, а после сравнительно слабых воздействий его свойства могут постепенно, иногда за годы, восстановиться. Если будет использован такой «приходящий в себя» феррит, то свойства катушки с ним будут соответственно меняться. Поэтому обрабатывать ферритовые сердечники, особенно для высокодобротных катушек, следу-

ет осторожно, преимущественно шлифованием. При закреплении сердечников механические напряжения должны быть исключены.

КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы постоянной емкости. В цепях высокой частоты применяются конденсаторы с керамическим или пленочным диэлектриком. Наименьшие потери обеспечивают полистирольные (ПСО) и слюдяные конденсаторы (КСО), они предпочтительнее в резонансных цепях. Несколько бо́льшие потери у керамических конденсаторов, не обладающих сегнетодиэлектрическими свойствами (КЛС, КДС). Сегнетокерамика обладает очень высокой диэлектрической проницаемостью, на ее основе делают конденсаторы большой емкости с малыми размерами, но их емкость имеет большой разброс от номинала, а главное — нестабильна при изменении температуры. Эти конденсаторы применяются как разделительные и блокировочные там, где их нестабильность не имеет существенного значения.

Пленочные и бумажные (БМ, МБМ) конденсаторы имеют заметную собственную индуктивность и поэтому их применение в качестве блокирующих нежелательно.

Электролитические конденсаторы. Электролитические конденсаторы (К50-3, К50-6) предназначены для работы в цепях постоянного или пульсирующего (с соответствующим увеличением номинального напряжения) тока. Для высокой частоты они создают значительное сопротивление, особенно при охлаждении, поэтому в высокочастотных цепях они должны обязательно шунтироваться керамическими конденсаторами (КЛС). Электролитические алюминиевые конденсаторы работоспособны при охлаждении до —10 (группа Н и тип К50-6), —40 (группа М) и —60° С (группа ОМ), при более низкой температуре их емкость быстро снижается.

При длительном бездействии электролитические конденсаторы расформовываются, напряжение пробоя диэлектрика значительно снижается. Для сохранения рабочего состояния конденсаторы раз в 2—3 месяца необходимо ставить под рабочее напряжение, а хранящуюся аппаратуру, содержащую электролитические конденсаторы, включать на короткое время. Если эти меры не были приняты, перед работой конденсаторы необходимо подформовать в течение 2—3 мин постепенно увеличивающимся напряжением; особенно это важно для конденсаторов, работающих при напряжении, близком к предельному.

Электролитические конденсаторы, особенно большой емкости, могут иметь значительную утечку, т. е. пропускать заметный постоянный ток (до 0,2 *ма*), поэтому они не должны применяться в высокоомных цепях. В этом отношении конденсаторы типа К50-6 значительно лучше конденсаторов типа ЭМ.

Конденсаторы переменной емкости. Настройку приемников прямого усиления на требуемую частоту, как правило, производят одинарным конденсатором переменной емкости, входящим в контур магнитной антенны. В настоящее время такие конденсаторы различных типов часто бывают в продаже. Конечно, можно воспользоваться и сдвоенным конденсатором, используя одну секцию или обе, соединенные последовательно, для повышения чувствительности приемника (за счет увеличения индуктивности контура, см. ранее), или параллельно, для увеличения перекрытия диапазона. Перекрытие диапазона по частоте пропорционально корню квадратному отношения максимальной емкости всего контура к минимальной. В эту емкость вхо-

дят: емкость конденсатора настройки (соответственно максимальная и минимальная), емкость катушки индуктивности (примерно 15—20 *пф* на ДВ и 5—15 *пф* на СВ), емкость монтажа и трансформированная входная емкость транзистора (10—20 *пф*). Например, для диапазона ДВ, составляющего 150—408 *кгц*, перекрытие по частоте $408/150 \approx 2{,}7$ раза, а по емкости $2{,}7^2 \approx 7{,}3$ раза. Если минимальная емкость конденсатора 5 *пф*, а контура с паразитными емкостями $5+ +20+10=35$ *пф*, то максимальная емкость контура должна быть $35 \cdot 7{,}3 \approx 256$ *пф*, а конденсатора $256-(20+10) \approx 226$ *пф*.

Из конденсаторов подходящей емкости следует предпочесть такой, который при достаточно малых габаритах был бы хорошо защищен от попадания внутрь пыли: даже мелкая песчинка, попав между статором и ротором, быстро процарапает тонкую пленку диэлектрика и выведет конденсатор из строя. Конденсаторы с пленочным диэлектриком часто создают трески при настройке из-за электризации диэлектрика при трении. Для малогабаритных конструкций наиболее подходящими представляются самодельные конденсаторы на основе подстроечного заводского конденсатора типа КПК-2. Основные их преимущества — малая толщина (что позволяет поместить их целиком внутрь ручки настройки), круговое вращение, отсутствие тресков, долгий срок службы. Не касаясь многократно описанных способов изготовления таких конденсаторов, все же необходимо отметить важность усиления проводящего слоя статора напайкой или наклейкой твердой бронзовой или латунной фольги, тщательной пришлифовки ротора и статора, выбора смазки. Вязкие смазки типа вазелина хорошо держатся, но емкость конденсатора с такой смазкой будет заметно зависеть от направления и частоты вращения ротора, изменения температуры. Слишком жидкая смазка быстро вытекает. Лучше всего применять зимой «веломашинное» масло, а летом — касторовое, но обе смазки могут применяться и в любое время года. Следует учесть только, что они не смешиваются между собой; касторовое масло хорошо растворимо в спирте, но нерастворимо в бензине, оно не действует на резину; веломашинное масло обладает противоположными свойствами.

Для увеличения максимальной емкости такого конденсатора толщина ротора может быть уменьшена шлифовкой. Этим методом можно довести емкость до 350—400 *пф*.

РЕЗИСТОРЫ

Постоянные резисторы. В любительских транзисторных приемниках применяются постоянные резисторы типа УЛМ (ВС-0,125), иногда МЛМ (МЛТ-0,125), МЛТ-0,25. В некоторых случаях необходимы резисторы с сопротивлением в единицы ом. Такие резисторы изготовляют из медного эмалированного провода диаметром 0,05—0,08 *мм*, который наматывают на резистор с сопротивлением более 1 *ком*. Для этого по справочнику или при помощи омметра определяют сопротивление 1 *м* или другого достаточно длинного и точно измеренного отрезка провода. Поскольку сопротивление провода прямо пропорционально его длине, нетрудно рассчитать и необходимую для намотки длину провода. Концы плотно намотанного на резистор провода подпаивают к выводам, а саму обмотку покрывают лаком или клеем для механической защиты. Медный провод в противоположность проводу из сплавов высокого сопротивления легко паяется, ошибка в определении длины сказывается значительно меньше; его сопротивление

прямо пропорционально температуре, т. е. он является термокомпенсирующим элементом.

Переменные резисторы. Для регулировки громкости (усиления) необходимо применять резисторы с показательной характеристикой (типа В) — у них сопротивление меняется не пропорционально углу поворота оси (как у типа А), а как требуется для получения натурального ощущения равномерного нарастания громкости звучания. Некоторые резисторы имеют выключатель питания. Наименьшие габариты у резисторов типа СПЗ-3, но более надежны и долговечны резисторы типа СПЗ-4, которые выпускаются с выключателем и без него.

Для регулировки громкости и других целей могут быть использованы малогабаритные резисторы типов СПО-0,15, СПО-0,5, а также СПЗ-1 (подстроечные), но они менее надежны в работе.

Если переменного резистора нужного сопротивления нет, можно воспользоваться резистором с более или менее близким сопротивлением, подогнав его под требуемое. Для уменьшения сопротивления следует натереть токопроводящий (черный) слой резистора мягким карандашом, а для увеличения — соскоблить часть слоя по периметру, но так, чтобы на пути движения подвижного контакта царапин не было (резисторы СПО с керамическим основанием такой подгонке не поддаются).

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Общие требования. Источник питания во многом определяет как электрические, так эксплуатационные характеристики приемника. Как элемент схемы, он должен обеспечить необходимое напряжение с минимальными колебаниями при изменении потребляемого тока (т. е. иметь малое внутреннее сопротивление) и температуры в течение всего времени работы, при отсутствии каких-либо помех. Как для элемента конструкции вообще для него важны размеры, масса, электрическая емкость, доступность, экономичность, сохраняемость, отсутствие вредных выделений (газов и жидкостей).

Для стационарного приемника наилучшим источником питания является выпрямитель сетевого напряжения. Но обычно любители делают транзисторные приемники переносными, питающимися от химических источников тока — гальванических или аккумуляторных батарей.

Транзисторы начинают работать уже при десятых долях вольта на коллекторе относительно эмиттера, но без искажений сигнал может быть усилен лишь при условии, что при максимальной амплитуде положительной полуволны напряжения сигнала на коллекторе сохранится еще отрицательное напряжение (для транзисторов *p-n-p*). Это остаточное напряжение зависит от тока коллектора, а еще больше от схемы включения транзистора по переменному току. В схемах с общей базой оно может быть очень близко к нулю, а с общим эмиттером при среднем токе коллектора составляет около 0,5 *в*, приближаясь при максимальном токе к 1 *в*. В высокочастотных каскадах заметное ухудшение частотных свойств и уменьшение усиления наступают при снижении напряжения до 1,5 *в*.

Напряжение в цепи коллектор — эмиттер транзистора равно разности между напряжением питания и падением напряжения на нагрузке коллектора и эмиттера. Следовательно, при увеличении напряжения питания можно повысить усиление каскада за счет уве-

личения сопротивления нагрузки в коллекторной цепи, которое составляет вместе с входным сопротивлением следующего каскада делитель выходного тока. Можно также увеличить сопротивление эмиттерного резистора и тем самым улучшить стабильность тока каскада.

При низковольтном питании (3—6 *в*) выходная мощность ограничивается максимально допустимым током транзистора, причем при большой амплитуде выходного тока увеличивается искажение сигнала, так как выходная характеристика транзисторов нелинейна. Кроме того, существенно уменьшается к. п. д. за счет остаточного напряжения: при параллельном питании двухтактного каскада (трансформаторного) напряжением 9 *в* теряется около 10%, при 4,5 *в* — 20% напряжения, а при последовательном питании (бестрансформаторного выходного каскада) потери удваиваются.

С другой стороны, низковольтная батарея при равной емкости соответственно меньше по массе и объему, а при равных габаритах имеет более высокий к. п. д. за счет меньшего внутреннего сопротивления и лучшего использования химической энергии, к тому же и стоимость 1 *ч* работы у батареи с большей емкостью меньше.

Таким образом, при выборе напряжения питания следует исходить прежде всего из намечаемой выходной мощности и параметров выходных транзисторов. От предварительных каскадов можно получить необходимое усиление и при низком напряжении питания, правда, иногда лишь при усложнении схемы.

Аккумуляторы. При постоянном наличии электросети и частом пользовании приемником экономично применение герметичных аккумуляторов. Они дают достаточно стабильное напряжение 1,0—1,3 *в* на элемент (свежезаряженный — до 1,4 *в* без нагрузки), причем большую часть энергии они отдают при 1,2—1,25 *в*. Их внутреннее сопротивление пренебрежимо мало, они работоспособны в широком интервале температур от −15 до +50° С (но наиболее эффективно они работают при +5÷+35° С).

Наибольшее распространение получили аккумуляторные элементы Д-0,1, а также Д-0,06 и Д-0,2 (цифра указывает на номинальную емкость в ампер-часах). Аккумуляторы Д-0,1 выпускаются как в виде отдельных элементов, так и в виде батарей из 7 элементов 7Д-0,1, а Д-0,06 и Д-0,2 — обычно отдельными элементами.

Если ток разряда аккумуляторов может без заметного вреда значительно превышать номинальный (это уменьшает только отдаваемую емкость), то превышение зарядного тока, особенно после получения 80%-ного заряда, может привести к газообразованию внутри элемента, его вспучиванию и разрушению. Время заряда номинальным током может быть увеличено без вреда для аккумуляторов вдвое (т. е. допускается 100%-ный перезаряд по времени).

Срок службы аккумуляторов сокращается при длительном хранении без заряда — подзарядка должна производиться не реже раза в месяц. Емкость аккумуляторов постепенно уменьшается после каждого цикла заряда — разряда, но при правильной эксплуатации они могут выдержать несколько сот циклов, т. е. прослужить несколько лет.

При сборке последовательной батареи из элементов Д-0,06, имеющих повышенный разброс характеристик, и других, долго хранившихся или бывших в употреблении, очень полезно подобрать их по близкой емкости и саморазряду. Элементы с пониженной емкостью или повышенным саморазрядом при работе в батарее вместе с более

качественными элементами будут чрезмерно разряжаться или даже заряжаться в противоположной полярности, что быстро выведет их из строя.

Для подбора элементов с близкими характеристиками все имеющиеся однотипные элементы соединяют последовательно и подвергают двум-трем циклам заряд — разряд номинальным током. Разряд производится до снижения напряжения на наиболее «слабом» элементе до 0,7—0,8 *в*. Это приведет все испытуемые элементы, как недавно находившиеся в работе, так и долго хранившиеся без употребления (и поэтому частично расформовавшиеся) в состояние одинаковой «тренированности».

После последней разрядки элементы могут быть разбракованы по остаточному напряжению на группы с близкой емкостью. После дополнительной зарядки всех элементов, выдержки в течение 7—10 суток и разрядки внутри каждой первоначальной группы можно таким же образом выделить элементы с близким саморазрядом. Из элементов с близкими емкостью и саморазрядом следует собирать постоянную батарею. Желательно сделать ее разборной, чтобы можно было периодически контролировать элементы, поскольку у них часто нарушается герметичность и вытекает электролит, что приводит к снижению емкости и повышению саморазряда через пленку солей. Чтобы уменьшить опасность слишком глубокого разряда наименее качественного элемента батареи, разряд ее должен проводиться до среднего напряжения не менее 1,0 *в* на элемент, а при использовании элементов с разными характеристиками — до 1,1 и даже до 1,2 *в* в зависимости от разброса характеристик.

Гальванические батареи. Сравнительно низкая удельная (т. е. отнесенная к 1 *г* массы или 1 $см^3$ объема) емкость, высокая стоимость, чувствительность к глубокому разряду, неустойчивость при длительном хранении сильно ограничивают область применения аккумуляторов, поэтому гораздо большее распространение получили батареи из гальванических элементов разового пользования.

Батарея большой емкости обеспечивает длительную работу приемника, позволяет увеличить выходную мощность, она более экономична как по стоимости запасенной энергии, так и по более полному использованию ее при разряде малым, сравнительно с емкостью, током, а также за счет низкого внутреннего сопротивления. Батарея малой емкости имеет зато малые размеры и массу, она лучше используется при редком, периодическом пользовании приемником, когда батарея большой ёмкости теряет больше энергии за счет саморазряда и высыхания, чем за счет работы. Практически нормальным считается, если на долю батареи приходится около 20—30% массы и объема всего приемника, а запаса питания хватает на 30—50 *ч* работы малогабаритного и 100—150 *ч* большого приемника.

Применение батареи из отдельных элементов значительно выгоднее, чем готовой «монолитной», так как позволяет заменять элементы поочередно, по мере глубокого истощения (примерно до 0,7 *в*) каждого из них. При этом напряжение и внутреннее сопротивление батареи будут меняться сравнительно мало. Это существенно облегчает стабилизацию режима и позволяет практически полностью использовать энергию каждого элемента. Кроме того, отдельные элементы допускают значительно большее разнообразие компоновки и более рациональное использование объема приемника.

Практически для несложных приемников с «карманными» размерами и выходной мощностью до 50—70 *мвт* целесообразно использо-

вать батарею из 2—4 элементов 332 (ФБС-0,25) при напряжении питания 3—6 *в* или батарею «Крона-ВЦ» (9 *в*), если в тот же объем нужно поместить более сложный приемник или получить большую выходную мощность (до 100—150 *мвт*). Для приемников средних размеров с выходной мощностью 100—200 *мвт* лучше применить элементы 336 или 316 (4,5—6 *в*), 332 или 316 (9 *в*), а также готовую батарею 3336Л (КБС-л-0,5) или «Рубин» (4,5 *в*). Для сравнительно больших приемников с мощностью 200—400 *мвт* подходят элементы 373 («Марс»), 343 (4,5—6 *в*) или 336, батареи 3336Л, «Рубин» (9 *в*). Более мощные приемники лучше питать от элементов 373. Для особо малогабаритных конструкций с успехом могут быть использованы части галетных батарей «Молния», «Радуга», «Крона-ВЦ» и т. п.

Крупные галетные батареи («Молния», «Радуга» и др.) целесообразно приобретать только коллективно, так как иначе практически невозможно успеть использовать всю дорогостоящую батарею до ее высыхания.

Батареи и тем более отдельные элементы очень полезно поместить в отдельный, изолированный отсек приемника или иной плотно закрывающийся кожух, так как иногда гальванические элементы при интенсивной нагрузке выделяют жидкость (электролит), которая сама или ее пары может вызвать коррозию металлических частей или замыкание проводников. По этой же причине перед долгим перерывом в работе следует вынимать батарею из приемника.

Если малогабаритный приемник часто используется в домашних условиях, его выгодно питать от выпрямителя или от батареи большой емкости, помещаемой в отдельный футляр, механически соединяемый с приемником в одно целое. Собственная батарея приемника при этом должна отключаться. В этом же футляре можно разместить более высококачественный крупногабаритный громкоговоритель, включаемый взамен громкоговорителя приемника, или даже дополнительный усилитель низкой частоты для более мощного громкоговорителя.

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

В настоящее время большинство радиолюбителей используют готовые громкоговорители динамической системы. Часто применявшиеся ранее самодельные громкоговорители электромагнитной системы на основе капсулей ДЭМ-4, ДЭМШ, телефонных и т. п. обычно имеют более высокий к. п. д., чем громкоговорители динамической системы, но и более высокий уровень частотных и нелинейных искажений, требует очень аккуратного и умелого исполнения.

Громкоговорители характеризуются электрическими параметрами: номинальной мощностью, уровнем нелинейных искажений, полосой воспроизводимых частот, равномерностью частотной характеристики, резонансной частотой подвижной системы, номинальным звуковым давлением, сопротивлением звуковой катушки — и конструктивными: размерами, массой, типом магнитной системы.

Номинальная мощность громкоговорителя — это та подводимая электрическая мощность, при которой нелинейные искажения, создаваемые громкоговорителем, не превышают оговоренных в технических условиях. Для уменьшения искажений предпочтительно применять громкоговоритель с запасом по мощности относительно выходной мощности усилителя.

Фактическая частотная характеристика приемника по звуковому давлению определяется не только качеством громкоговорителя, но и всего радиоканала — радиостанцией, усилителями высокой и низкой частоты приемника, его акустическим оформлением. Частоты выше 5000 *гц* ограничиваются уже при передаче амплитудно-модулированного сигнала, следовательно, громкоговорителям с существенно более высокой рабочей частотой за этой границей уже нечего воспроизводить, кроме шумов и помех. По низшим частотам ограничение накладывает резонансная частота подвижной системы громкоговорителя: чтобы иметь достаточно высокий к. п. д. на высших частотах, подвижная система должна быть легкой и упругой, т. е. иметь высокую резонансную частоту, а частоты ниже резонансной воспроизводятся плохо. На самой резонансной частоте громкоговоритель имеет резко повышенную чувствительность, а непосредственно после возбуждения резким сигналом любой частоты диффузор продолжает некоторое время колебаться со своей резонансной частотой, что вызывает существенные искажения. Поэтому усилители низкой частоты должны ограничивать диапазон сигнала частотой, несколько превышающей резонансную частоту громкоговорителя. Уменьшению искажений от резонанса подвижной системы хорошо способствует понижение выходного сопротивления усилителя за счет применения выходного каскада по схеме с общим коллектором или отрицательной обратной связи. Низшие частоты плохо излучаются даже хорошими громкоговорителями, установленными в корпусах малых размеров.

Для лучшего восприятия звука необходимо сбалансировать воспроизведение высших и низших частот. Считается, что наилучшее звучание достигается при произведении высшей частоты на низшую в пределах 250 000—300 000 *гц*^{2}.

Среднее звуковое давление характеризует к. п. д. громкоговорителя; оно определяется как средняя (для ряда частот в рабочей полосе) величина звукового давления, создаваемого громкоговорителем на расстоянии 1 *м* вдоль его оси при подведении к нему мощности в 0,1 *вт*. У лучших отечественных образцов громкоговорителей среднее звуковое давление достигает 0,35—0,40 *н/м*^{2}, а у малогабаритных конструкций 0,23—0,30 *н/м*^{2}.

Сопротивление звуковой катушки громкоговорителя имеет особое значение для бестрансформаторных выходных каскадов, так как их выходная мощность определяется напряжением питания и сопротивлением нагрузки. В трансформаторных каскадах выходное сопротивление усилителя согласуется с сопротивлением громкоговорителя трансформатором и сопротивление звуковой катушки не столь существенно, если имеется или может быть изготовлен подходящий трансформатор.

Тип магнитной системы имеет особое значение для малогабаритных конструкций, так как он определяет интенсивность внешнего магнитного поля. Наименьшее поле у громкоговорителей с керновым магнитом и закрытой (чашечной) магнитной системой; существенно сильнее поле, особенно с открытых сторон, у громкоговорителей со скобообразным магнитопроводом и самое сильное — у громкоговорителей с кольцевым магнитом, особенно из феррита бария. Это магнитное поле значительно влияет на окружающие элементы схемы, имеющие ферромагнитные сердечники (ферритовые, пермаллоевые, стальные и т. п.), иногда полностью нарушая их работу. Поэтому безусловное предпочтение в малогабаритных конструкциях следует

отдать громкоговорителям с керновым магнитом и чашечным магнитопроводом (0,1ГД-6; 0,1ГД-8; 0,1ГД-12; 0,5ГД-17; 0,5ГД-20; 0,5ГД-21).

ТРАНСФОРМАТОРЫ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ

К низкочастотным трансформаторам предъявляются довольно высокие требования: при минимальных размере и массе они должны обеспечить минимум частотных, нелинейных и фазовых искажений, потерь и взаимодействия с окружающими элементами схемы.

Частотные искажения обусловлены индуктивным характером сопротивления обмоток — чем меньше низшая частота сигнала, тем больше должна быть индуктивность для обеспечения нужного сопротивления нагрузки. Индуктивность обмотки определяется количеством витков и сердечником — магнитной проницаемостью и сечением. От количества витков обмотки зависит и ее активное сопротивление, т. е. потери энергии сигнала в ней: чем больше витков, тем длиннее и тоньше должен быть провод для обеспечения возможности размещения обмотки на данном каркасе и сердечнике. С увеличением количества витков растет и межвитковая емкость обмотки, что может привести к завалу высших частот.

Магнитная проницаемость сердечника в свою очередь зависит от напряженности магнитного поля. При превышении определенной для каждой марки железа (сплава) напряженности нарушается пропорциональность между ней и магнитной индукцией, резко возрастают нелинейные искажения. На магнитную проницаемость сильно влияет и постоянное магнитное поле от протекающего по обмотке постоянного тока (оно прямо пропорционально количеству витков и силе тока) или от постоянных магнитов, например магнитной системы громкоговорителя. Для уменьшения искажений от чрезмерной напряженности поля увеличивают сечение сердечника, для уменьшения влияния постоянного тока, кроме того, иногда собирают сердечник с немагнитным зазором, но это сильно понижает действующую магнитную проницаемость сердечника.

Наибольшей проницаемостью обладают сплавы железа с никелем и другими металлами — пермаллои различных марок, они позволяют существенно уменьшить размеры сердечника. Но эти сплавы очень чувствительны к механическим напряжениям — под действием небольших механических нагрузок (слишком плотной набивки в каркас, сильного сжатия обоймой и т. п.) пермаллой обратимо снижает свою проницаемость, а под сильным воздействием (удар, изгиб) эти изменения могут стать необратимыми, проницаемость сильно «травмированного» пермаллоя может быть меньше проницаемости обычной трансформаторной стали. Отсюда следует, что обращаться с трансформаторами на пермаллое следует очень бережно, при сборке сердечника и закреплении его на плате нельзя прилагать больших усилий, следует также избегать применения неизвестных сердечников, если нет возможности проверить их свойства.

Для улучшения качества трансформаторов большого размера применяют специальные способы намотки — чередование частей различных обмоток, секционирование и т. п. меры, имеющие целью лучше связать магнитным полем первичную и вторичные обмотки, уменьшить их емкость. В малогабаритных конструкциях частотный диапазон значительно уже, да и размеры не позволяют использовать эти способы. Но в любом случае очень важно обеспечить симметричность

двухтактных обмоток, для этого их лучше всего наматывать проводом, сложенным вдвое. Начало одной такой обмотки и конец другой соединяют вместе, образуя среднюю точку. При самостоятельной намотке выходного трансформатора лучше первой наматывать вторичную обмотку, так как это позволит заметно уменьшить длину, а следовательно, сопротивление и объем провода. Первичная обмотка имеет значительно больше витков и разница в длине провода при изменении порядка намотки не столь велика.

Эффективность выходного трансформатора можно существенно увеличить, если применить автотрансформаторную схему. Поскольку первичный и вторичный токи направлены противоположно, по общей части обмотки протекает лишь разностный ток, поэтому потеря мощности на ее активном сопротивлении снижается и может быть уменьшено сечение провода. Кроме того, вследствие уменьшения общего количества витков на каркасе появляется возможность увеличения сечения провода остальной части первичной обмотки. И, наконец, частично разгружается магнитопровод, поскольку часть мощности передается чисто электрическим путем в общей части обмотки. Все эти преимущества проявляются тем сильнее, чем меньше коэффициент трансформации; они позволяют заметно улучшить качество трансформатора или уменьшить его размеры.

При изготовлении двухтактного автотрансформатора сначала наматывают в два провода общую часть обмотки, а затем остальную часть. Все части обмотки должны быть соединены таким образом, чтобы витки имели одинаковое направление.

МАКЕТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

НАЗНАЧЕНИЕ МАКЕТА СХЕМЫ

Точное копирование подробно описанной конструкции может удовлетворить только начинающего любителя, которого скорее можно назвать сборщиком, чем конструктором. Но уже отсутствие какой-либо детали, в точности соответствующей описанию, заставляет решать простейшие конструкторские задачи: какой деталью заменить и как ее разместить. Гораздо больше трудностей возникает при повторении кратко описанной конструкции, комбинировании нескольких схем, а тем более при разработке новой, своей конструкции. Во всех этих случаях нерационально делать приемник сразу «начисто», в виде полностью завершенной конструкции: часто более или менее сложная схема сразу «не идет», тем более у неопытного любителя. Причины могут быть разные — недостатки выбранной принципиальной схемы или конструкции, ошибки, неисправность какой-нибудь детали или отличие ее параметров от требуемых, неудачный режим или просто несоответствие схемы поставленным требованиям, а также всевозможные комбинации этих и других причин. На готовой, особенно сложной и малогабаритной конструкции, выяснить это трудно, а внести сколько-нибудь существенные изменения часто уже невозможно.

Чтобы преодолеть эти трудности, конструкторы — от начинающих любителей до опытных профессионалов — пользуются макетом налаживаемой схемы. Макет — это приемник (или иной прибор), собранный по выбранной схеме из натуральных деталей на особой «макетной» плате увеличенных размеров, специально приспособлен-

ной к замене и перестановке деталей, измерению и подборке режимов работы. При макетировании сравнительно просто и быстро можно собрать и наладить испытуемую схему, выявить ее возможности, сравнить варианты, внести любые изменения, подобрать режимы, полностью проверить имеющиеся детали и приблизительно определить их взаимное расположение. Время и труд, затраченные на макетирование, сторицей окупятся при налаживании готовой конструкции, а разработка новой схемы без макетирования практически невозможна. Для начинающего конструктора макетирование—это хорошая школа, а для опытного — рабочая проверка его идей.

Поскольку работа с макетом занимает большую часть времени конструирования, удобство работы с ним имеет большое значение. Хорошо сделанная макетная плата экономит много времени и труда при работе, она может быть использована многократно, для самых различных схем, даже в течение нескольких лет работы.

Простейшие схемы можно собирать на одной макетной плате, а сложные — удобнее на нескольких, по отдельным, выполняющим определенную функцию частям (блокам), например, усилитель высокой частоты с детектором и усилителем низкой частоты (если они сложные — можно и их разделить на самостоятельные части). В этом случае удобнее не только работать над каждым блоком отдельно, но и менять, сравнивать разные варианты какого-либо блока в общей схеме. Имея хорошо отработанные и налаженные «эталонные» блоки, например усилителей высокой и низкой частоты, настройки и питания, можно при испытании новой схемы собирать не весь приемник заново, а лишь его наиболее интересную или вновь разрабатываемую часть, которую и проверить вместе с уже готовыми блоками, сравнивая ее работу с «эталоном» того же назначения.

МАКЕТНЫЕ ПЛАТЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Макетные платы. Макетную плату можно изготовить из пластинки любого теплостойкого изолятора: текстолита, гетинакса, картона (картон полезно хорошо просушить и пропитать парафином или воском). Толщина пластинки текстолита или гетинакса должна быть не менее 1 *мм*, картон лучше взять мебельный — толщиной около 3 *мм*. Длина и ширина платы должны обеспечить свободное размещение всех деталей с удобным доступом к их выводам.

На пластинке укрепляются монтажные стойки. Очень удобны самодельные стойки из белой (луженой) жести. Чертеж заготовки и способ крепления показаны на рис. 3, *а* и *б*. Эта стойка имеет четыре монтажных и два крепежных лепестка, что позволяет подпаять четыре проводника без перегрева ранее сделанных паек. Два крепежных лепестка не позволяют стойке поворачиваться на плате, их можно использовать также для подпайки соединительных проводников (снизу), если эти стойки применены для постоянной платы какой-нибудь крупногабаритной конструкции. Для увеличения прочности монтажных лепестков углы между ними и основанием стойки после ее установки следует залить небольшим количеством припоя.

Более простые в изготовлении стойки можно сделать из луженого медного провода диаметром 0,7—1,0 *мм* (рис. 3, *в*, *г*). Отрезки этого провода длиной 25—30 *мм* складывают вдвое с небольшой петелькой, 1—3 таких заготовки плотно вставляют в отверстие платы

снизу и разгибают сверху. В отверстие заливают припой, соединяющий их в одно целое. Отогнутые концы и являются монтажными лепестками. Чтобы к ним было удобнее подпаивать проводники, эту часть заготовок полезно предварительно немного расплющить. Недостатком таких стоек по сравнению с жестяными является стекание припоя в отверстие платы при уже небольшом перегреве. Кроме того, крепление в одном отверстии платы допускает поворачивание стойки, особенно при пайке, что вызывает неудобства.

На плате стойки размещаются непрерывными вертикальными и горизонтальными рядами, образуя сплошное монтажное поле, позволяющее легко перемещать детали и добавлять новые и пригодные для многократного использования под разные схемы. Расстояние между стойками (по центрам оснований) по горизонтали около 18 *мм*, по вертикали — 10 *мм*. Количество стоек в каждом ряду зависит от сложности схемы, ориентировочно на каждый транзистор нужно иметь один вертикальный ряд в 7—9 стоек. Самые верхние лепестки верхнего ряда и нижние — нижнего распрямляются и спаиваются «внахлест» с соседними по горизонтали, образуя общие плюсовую и минусовую шины, к концам которых подсоединяется гибкими изолированными проводниками колодка питания (от использованной батареи «Крона»). В случае необходимости шины можно прервать, распаяв и отодвинув лепестки.

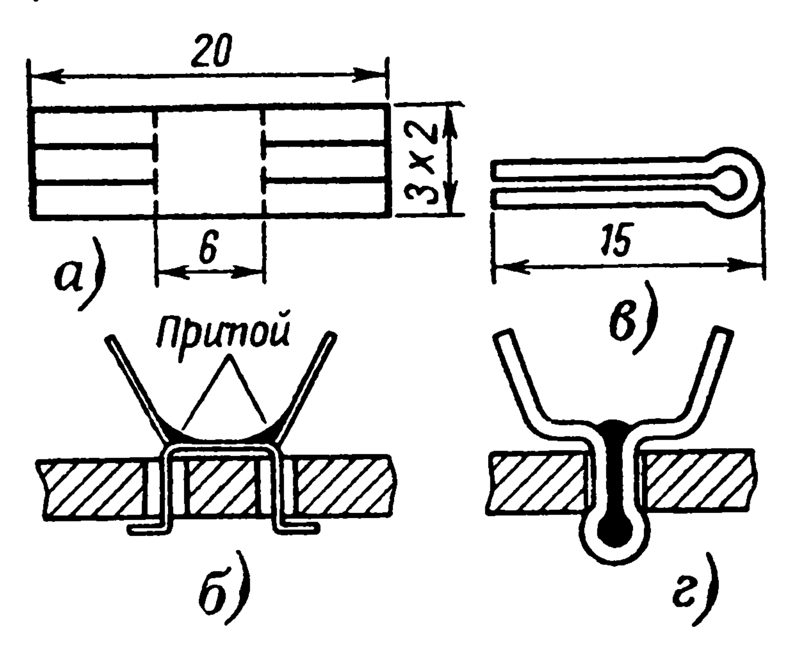


Рис. 3. Монтажные стойки для макета.

а, *в* — заготовки; *б*, *г* — крепление к плате.

Макетную плату можно изготовить также из готовых, часто бывающих в продаже гетинаксовых монтажных планок с семью стойками каждая, по два лепестка. Эти планки укрепляются также на изолирующей пластинке на расстоянии около 20 *мм* (по осям) друг от друга при помощи описанных ранее (рис. 3, *в*) заготовок, отогнутые сверху концы которых также образуют общие шинки. Лепестки этих стоек довольно непрочны и их тоже полезно укрепить припоем. Изгибать их можно только в холодном состоянии, так как расплавленный припой не только не укрепляет место перехода лепестка в основание, но даже снижает его прочность действием поверхностных сил в микротрещинах. Подпаивать проводники к лепесткам нужно осторожно, хорошо разогретым паяльником и быстро, иначе ранее подпаянные проводники могут отвалиться из-за высокой теплопроводности этих лепестков.

Предварительная проверка деталей. Перед сборкой схемы на макетной плате нужно проверить все устанавливаемые детали хотя бы омметром. У омметров, входящих в состав авометров (тестеров), щуп, подключаемый к общему гнезду, имеет положительную полярность, но лучше при работе с незнакомым прибором проверить полярность его щупов, например, измерением сопротивления какого-либо диода с известной полярностью в прямом и обратном направлении.

Электролитические конденсаторы в нормальной полярности подключаются к прибору, установленному на предел измерения «×1000», а конденсаторы с рабочим напряжением менее 4,5 *в* — на предел «×100». В момент подключения через прибор проходит зарядный ток конденсатора и стрелка резко отклоняется, и тем заметнее, чем больше емкость. Если такого броска стрелки нет, то конденсатор не годен — у него внутренний обрыв или высох электролит. После броска стрелка возвращается назад, на деления шкалы, соответствующие сотням килоом. Чем больше показываемое ею сопротивление, тем лучше качество конденсатора. Долго хранившиеся электролитические конденсаторы могут частично расформоваться, но при включении под напряжение (в правильной полярности) восстанавливаются. Если же сопротивление в течение нескольких минут не повышается хотя бы до 100 *ком*, то конденсатор считается непригодным. Неэлектролитические конденсаторы (малой емкости) не вызывают заметного броска стрелки. Сопротивление изоляции у них должно быть очень высоким — за пределом чувствительности обычного омметра.

Трансформаторы и катушки индуктивности проверяют на обрыв и сопротивление изоляции между обмотками, которое также должно быть за пределами чувствительности омметра.

У диодов проверяют обратное (по шкале «×1000») и прямое (по шкале «×1») сопротивления.

Перед установкой в схему полезно также проверить омметром резисторы на соответствие их фактического сопротивления номинальному, громкоговоритель — на целость звуковой катушки, конденсатор переменной емкости — на отсутствие замыкания ротора со статором.

Сборка макета. Проверенные детали подпаивают к лепесткам макетной платы без обрезки выводов. Те из них, которые боятся перегрева или могут часто заменяться, лучше подсоединять при помощи панелек или гнезд, изготовленных из жести, латуни или лепестков от панелек пальчиковых ламп. Например, к стандартным низкочастотным трансформаторам с сердечником Ш3×6, применяемым в приемниках «Сокол», «Нейва», и т. п., хорошо подходят панельки 9-штырьковых пальчиковых ламп, но из-за разной длины штырьков ламп и трансформаторов не все типы панелек могут быть использованы, а некоторые требуют доработки — снятия небольшого слоя пластмассы над лепестками.

Постоянные резисторы схемы, сопротивление которых нуждается в уточнении, заменяются временно переменными. Малогабаритные переменные резисторы могут быть установлены непосредственно на плату с помощью дополнительных стоек из провода 0,7—1,0 *мм*, крупногабаритные выносятся за пределы платы и подсоединяются изолированными проводниками. Оси переменных резисторов должны быть изолированы от рук настраивающего во избежание наводок. Так же подсоединяются и другие крупногабаритные детали, не устанавливаемые на плату.

Во время первоначального испытания схемы на макете вместо дефицитных деталей могут быть применены равнозначные по характеристикам детали других типов, которые можно заменить на предназначенные к установке в готовый приемник детали на самой последней стадии макетирования — для окончательной проверки и наладки.

Качество звучания громкоговорителя сильно зависит от акусти-

ческих свойств окружающего пространства, поэтому при макетировании желательно не просто класть громкоговоритель рядом с макетом, а помещать в постоянный или временный футляр, заменяющий корпус приемника. Там же можно поместить эквивалент звуковой катушки громкоговорителя — постоянный или переменный резистор с сопротивлением и мощностью, соответствующими этой катушке, с переключателем. Такой эквивалент позволит налаживать усилитель с любой выходной мощностью. Для слухового контроля можно подключить параллельно эквиваленту высокоомные громкоговоритель или телефон, а также основной громкоговоритель с включенным последовательно гасящим резистором.

Катушки индуктивности при макетировании обычно не закрепляются на плате и часто перемещаются относительно нее, отчего их выводы многократно перегибаются и легко обрываются. Поскольку выводы катушек обычно являются продолжением их обмоток, обрыв вынуждает перематывать всю катушку заново. Чтобы избежать этого, выводы катушек нужно прочно прикрепить к каркасу или специальной панельке, жестко с ним скрепленной. К тому же каркасу или панельке так же прочно прикрепляются промежуточные проводники, соединяющие выводы со схемой. Таким образом, все механические усилия прилагаются только к промежуточным проводникам, которые легко заменить при обрыве. На всякий случай катушки нужно наматывать так, чтобы можно было с любого ее конца смотать несколько витков.

Каскады радиоприемника на макете удобнее всего располагать в линию, избегая скученности и переплетения соединительных проводников, особенно высокочастотных. Между каскадами желательно оставить небольшие свободные промежутки — для более удобной работы и дополнительных деталей, которые могут быть установлены в процессе налаживания. Чтобы облегчить ориентировку в монтаже, полезно пользоваться единой системой условных обозначений соединительных проводников с разноцветной изоляцией. Например, плюсовые провода — красные, минусовые — синие, базовые — белые и т. д.

Питание макета. Для питания макета предпочтительнее использовать батарею гальванических элементов большой емкости, например «Марс» (373) Кроме ранее рассмотренных преимуществ (стр 17) это дает возможность изменять напряжение питания схемы отключением части элементов. Такая проверка работы схемы при пониженном напряжении очень важна, так как налаженный при максимальном напряжении свежей батареи приемник может существенно ухудшить свою работу или совсем ее прекратить при еще неполном использовании запаса энергии батареи.

Можно использовать также батарею аккумуляторов или выпрямитель сетевого напряжения. Эти источники также должны обеспечивать возможность снижения питающего напряжения минимум на 50%. Выпрямитель для питания макета от сети обязательно должен быть трансформаторного типа, с надежной изоляцией между обмотками. **Работа с бестрансформаторным выпрямителем опасна не только для элементов схемы, но и для жизни экспериментатора!** Выпрямитель должен иметь защиту от просачивания помех из сети в налаживаемую схему. Для этого сетевую обмотку шунтируют конденсатором 0,01—0,05 *мкф*, лучше керамическим или слюдяным (безындукционным), а между сетевой и понижающими обмотками помещают электростатический экран — слой медной фольги (он не должен

образовывать короткозамкнутый виток) или один слой обмотки любого изолированного провода виток к витку. Фольгу или один конец обмотки подсоединяют к общему проводу выпрямителя. Из этих же соображений следует предпочесть для трансформатора П-образный сердечник, с размещением обмоток на разных стержнях.

Стабилизация напряжения на нагрузке при колебаниях сетевого напряжения и потребляемого тока, а также хорошее сглаживание пульсации могут быть обеспечены транзисторными стабилизаторами. Достаточно стабильное напряжение с широкими пределами регулировки и ограничением максимального тока можно получить от стабилизатора по схеме рис. 4. Этот стабилизатор-ограничитель работает по принципу усилителя с глубокой отрицательной обратной связью по напряжению. Входным напряжением первого каскада (на транзисторе T_1) является часть выходного напряжения стабилизатора, определяемая положением движка потенциометра R_3, который является регулятором выходного напряжения. Для повышения коэффициента усиления по постоянному напряжению, а следовательно, и коэффициента стабилизации напряжение питания стабилизатора (т. е. напряжение выпрямителя) примерно в полтора раза превышает максимальное стабилизированное напряжение (оно ограничивается резистором R_4). Конденсатор C_1 увеличивает отрицательную обратную связь по переменному напряжению. Каскад на транзисторе T_2 является также ограничителем максимального тока: при увеличении выходного тока увеличивается падение напряжения на резисторе R_2 и эмиттерном переходе транзистора T_2; тогда оно достигает напряжения отпирания диода $Д_1$ (около 0,3 *в* для кремниевых диодов), часть тока, ранее протекавшая через базу T_2, будет проходить через диод, что и вызовет ограничение выходного тока. Ток срабатывания ограничителя регулируется резистором R_2. Для удобства пользования стабилизатором полезно при его наладке отградуировать R_2 по току ограничения, а R_3 — по выходному напряжению и в дальнейшем пользоваться этими шкалами. Транзистор T_3 должен иметь максимально допустимый ток коллектора не менее потребляемого от стабилизатора, максимально допустимое напряжение на коллекторе должно быть не менее полного напряжения выпрямителя, а максимально допустимая мощность рассеивания — не менее произведения этих величин. Транзисторы T_1 и T_2 — любые германиевые на максимальный ток 10 *ма* и напряжение выпрямителя. В частности, для стабилизатора с выходным напряжением до 10 *в* и током до 100 *ма* могут быть использованы в качестве T_1 и T_2 транзисторы типов П13—П16, П20, П22, П23, П25, П26, МП40, МП41 с любыми буквен-

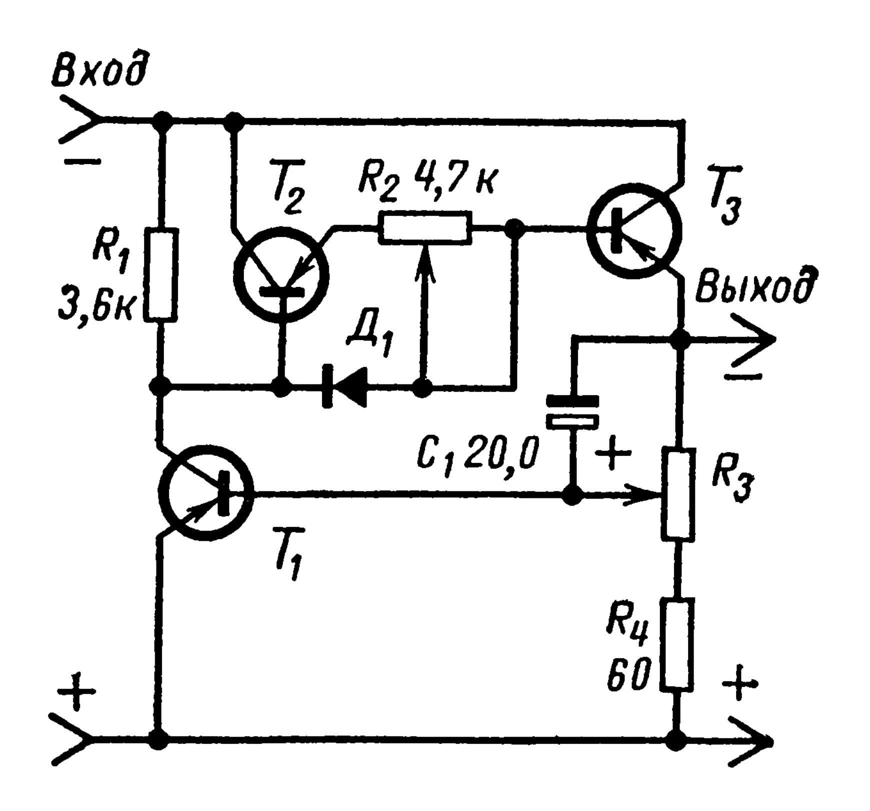


Рис. 4. Транзисторный стабилизатор напряжения с ограничением максимального тока. Сопротивление резистора R_3 4,7 к.

ными индексами, а в качестве Т — П201—П203, П210, П213, П214, П4 и др. Тип кремниевого диода $Д_1$ не имеет существенного значения, желательно, чтобы его прямое сопротивление было как можно меньше (например, Д226, Д206—Д211, Д223, Д808—Д814, с любыми буквенными индексами).

Подобным стабилизатором-ограничителем полезно пользоваться и при питании макета от батареи, так как при случайных замыканиях, обрывах и ошибках в схеме он защитит транзисторы от повреждения. Падение напряжения на нем невелико и мало зависит от протекающего тока вплоть до предельного, а поэтому в большинстве случаев им можно пренебречь.

Измерения при макетировании. Чтобы достаточно удовлетворительно испытать и наладить схему, необходимо пользоваться миллиамперметром, вольтметром и омметром, которые обычно соединены в один комбинированный прибор — авометр (тестер). О пользовании омметром говорилось ранее, теперь рассмотрим особенности работы с миллиамперметром и вольтметром. Миллиамперметр включают в разрыв цепи, в которой производится измерение, и весь измеряемый ток проходит через прибор. Прибор создает току дополнительное сопротивление, на которое происходит падение напряжения. Обычно падение напряжения на авометре в режиме измерения тока составляет около 0,6 *в*, поэтому включение его в цепь с малым или строго заданным напряжением вызывает нарушение ее режима.

Например, напряжение на базе маломощного германиевого транзистора относительно эмиттера составляет около 0,13—0,15 *в*. Если в цепь эмиттера включить миллиамперметр, то для сохранения того же тока базы необходимо увеличить напряжение на ней на 0,6 *в*, т. е. в 4—5 раз. Поскольку цепь смещения на это не рассчитана, то режим транзистора по постоянному току будет сильно изменен. Если же включить миллиамперметр в цепь коллектора, то это практически не отразится на коллекторном токе, так как напряжение на коллекторе обычно бывает гораздо больше чем 0,6 *в*, а ток коллектора в этом случае почти не зависит от его напряжения (схемы с малым, сравнимым с 0,6 *в* напряжением на коллекторе, чувствительны к включению такого прибора).

Кроме того, по прибору будут проходить токи высокой и низкой частоты, что может вызвать нежелательные эффекты. Ток высокой частоты, например, распространяясь по соединительным проводам, будет проникать во все близко расположенные цепи, вызывая паразитные обратные связи и нарушение работы схемы; изменение сопротивления цепи для сигнала также вызовет нарушение работы. Чтобы избежать этого, параллельно прибору, непосредственно в месте его подсоединения, необходимо подключить конденсатор емкостью 0,01—0,05 *мкф*, предпочтительно безындукционный (керамический или слюдяной). Весьма полезно также в провод прибора, который подсоединяется к точке с повышенным относительно заземления высокочастотным напряжением (так называемому «горячему» концу), включить резистор с сопротивлением 20—100 *ом*, он будет препятствовать распространению высокой частоты по проводу. Для уменьшения влияния миллиамперметра на низкочастотный сигнал следует подсоединить параллельно прибору электролитический конденсатор емкостью не менее 10 *мкф* в соответствующей полярности, место его расположения несущественно.

Измерение тока вызывает необходимость разрыва цепи, что не всегда удобно. Удобнее измерять напряжение, которое легко пере-

считать по закону Ома на ток в цепи, если известно ее сопротивление. Вольтметры, входящие в состав авометра, имеют внутреннее сопротивление около 10—20 *ком/в* (относительно верхнего предела шкалы), поэтому их можно подключать параллельно цепям только со значительно меньшим сопротивлением. Если, например, вольтметр с сопротивлением 10 *ком/в* на шкале с верхним пределом 1,5 *в* подключен параллельно цепи с сопротивлением 15 *ком*, то это равносильно уменьшению сопротивления вдвое, так как сам прибор имеет внутреннее сопротивление также 15 *ком*. Если необходимо измерить постоянное напряжение в цепи с высокочастотным током, то во избе-

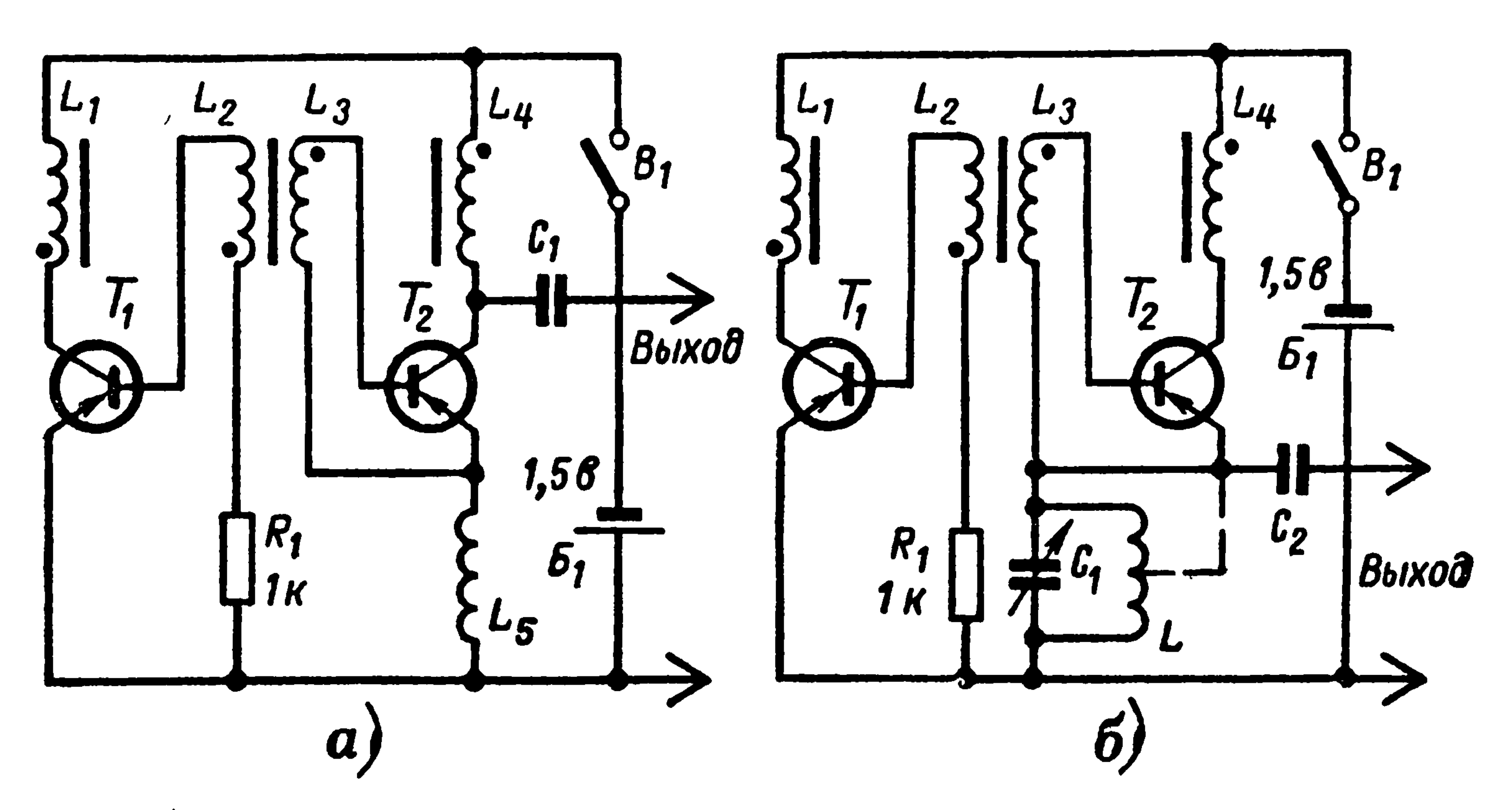


Рис. 5. Мультивибратор для испытания и налаживания схем.

а — широкополосный; *б* — узкополосный.

жание закорачивания его через емкости соединительных проводов и образования паразитных обратных связей, в «горячий» конец провода следует включить дроссель с возможно большей индуктивностью, но с малой емкостью между витками катушки. Если же в момент этого измерения высокочастотный сигнал не нужен в схеме, лучше шунтировать вольтметр емкостью (так же, как ранее миллиамперметр).

Источники сигнала для налаживания. Для налаживания высокочастотных и низкочастотных схем необходимы генераторы соответствующих сигналов, но изготовление высококачественных генераторов само по себе трудоемкое и требующее умения дело. На первых порах можно удовлетвориться очень простым релаксационным генератором, который хотя и не позволяет получить сигнал строго определенной частоты и амплитуды, но вполне пригоден для сравнительной оценки: работы приемника в целом и по частям, усиления различных вариантов схем и режимов и т. п. Промышленностью выпускаются для радиолюбителей такие генераторы, оформленные в виде щупов, они легко могут быть изготовлены и самостоятельно.

На рис. 5, *а* показана схема мультивибратора, вырабатывающего импульсы низкой частоты, близкие по форме к прямоугольным. Такие колебания физически и математически можно разложить на ряд синусоидальных колебаний с частотами, кратными низшей из них —

основной. Так, если импульсы следуют с частотой 1500 *имп/сек*, то основной частотой будет 1,5 *кгц*, а кратные частоты-гармоники — 1,5×2, 1,5×3, 1,5×4, ..., 1,5×*n* *кгц*, где *n* — любое целое положительное число (оно называется номером гармоники). Амплитуда напряжения гармоники с повышением номера уменьшается тем сильнее, чем ближе форма колебаний к синусоидальной. У низкочастотного мультивибратора выходное напряжение настолько богато гармониками, что они могут быть легко (например, при помощи телевизора) обнаружены даже в УКВ-диапазоне, т. е. *n* достигает сотен тысяч. Такое богатство гармоник позволяет использовать мультивибратор для наладки самой разнообразной аппаратуры, но точные измерения проводить с ним невозможно, так как практически нельзя выделить только одну нужную гармонику и приходится работать с целым спектром частот. К тому же амплитуда основной частоты и ее гармоник сильно зависит от внешних факторов, прежде всего от напряжения питания.

При налаживании низкочастотных схем сигнал можно снять с коллектора транзистора T_2 через конденсатор C_1 емкостью 1000—10 000 *пф* и общего провода мультивибратора. Аналогично снимается широкополосный высокочастотный сигнал, но емкость может быть уменьшена до 2—100 *пф*, в зависимости от чувствительности налаживаемой схемы. Если же необходим высокочастотный сигнал более определенной частоты, то следует включить, как это показано на рис. 5, *б*, колебательный контур, настроенный на нужную частоту. Параллельный контур обладает высоким сопротивлением на своей резонансной частоте и на нем выделяются ближайшие к ней гармоники генератора. Число гармоник, выделяющихся на контуре (ширина полосы частот), зависит от его добротности и может быть уменьшено при неполном включении контура (тот же рисунок, пунктирная линия). Как и в любом случае трансформаторного или автотрансформаторного включения, напряжение на отводе или понижающей обмотке будет прямо пропорционально доле включенных витков, а вносимые в контур внешними цепями (нагрузкой и соединительными проводами) потери и емкости пропорциональны второй степени этой доли. Например, при отводе от половины катушки напряжение сигнала уменьшится вдвое, а вносимые потери и емкости — вчетверо.

Проверить рабочую частоту генератора можно, прослушивая его сигнал при помощи какого-либо работающего приемника с градуированной шкалой настройки. Если нужно подать высокочастотный сигнал на резонансный контур самого настраиваемого приемника, то можно это сделать, поместив рядом с катушкой контура, на продолжении ее оси, несколько витков (2—5) изолированного провода, подключенных к мультивибратору (L_5 на рис. 5, *а*). Эта катушка и катушка связи контура с приемником должны находиться по разные стороны самого контура, чтобы в приемник меньше проникали гармоники вне полосы пропускания контура. Напряжение сигнала при этом легко регулировать, подбирая расстояние между катушками контура и мультивибратора. Во всех случаях применения мультивибратора высокочастотный сигнал будет модулирован основой частотой и ее низкочастотными гармониками в пределах полосы пропускания резонансного контура.

В качестве источника широкополосного сигнала могут быть применены и другие генераторы импульсов, в том числе и мультивибраторы *RC*-типа (т. е. мультивибраторы с резисторами в качестве кол-

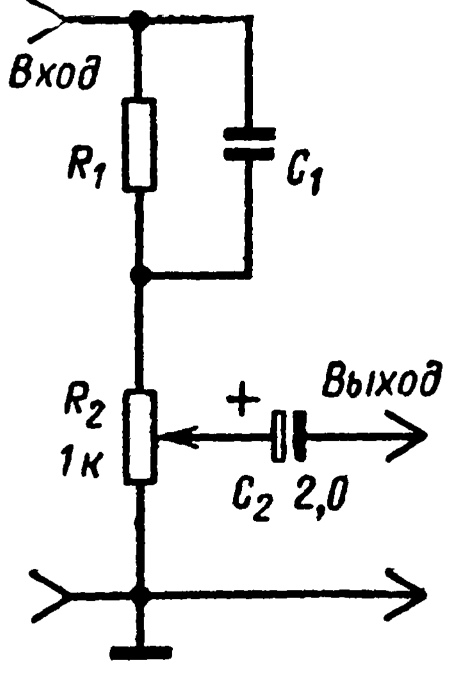


Рис. 6. Делитель низкочастотного напряжения.

лекторных нагрузок и емкостными связями между транзисторами), но индуктивный мультивибратор лучше использует напряжение при низковольтном источнике питания и может быть выполнен в виде очень миниатюрной конструкции. В данном мультивибраторе используются любые низкочастотные транзисторы и ферритовое кольцо с внешним диаметром 10 *мм* (Ф1000) с обмоткой в четыре провода, т. е. четыре обмотки по 120 витков провода ПЭЛШО 0,12. Начало каждой обмотки на схеме обозначено точкой. Могут быть применены и кольца другого размера или проницаемости, число витков может быть другим, от этих измерений в довольно широких пределах меняется лишь частота импульсов, т. е. основная частота мультивибратора.

При налаживании высокочастотных каскадов необходимо помнить о сравнительно высоком уровне низкочастотных гармоник мультивибратора, особенно резистивно-емкостного. Если конденсаторы усилителя имеют большую емкость, то сравнительно низкочастотные гармоники будут значительно усилены и могут быть причиной ошибок. Особенно это возможно при налаживании рефлексных схем. Для уменьшения этого влияния предпочтительнее использовать узкополосный вариант мультивибратора (рис. 5, *б*). Окончательную настройку все же лучше производить по какому-либо монолитному сигналу с эфира, например телеграфных радиомаяков, которые практически всегда работают в диапазонах СВ и ДВ.

Оценить искажения усилителя низкой частоты можно, прослушивая воспроизведение музыки. Источником такого сигнала может быть другой, заведомо хорошо налаженный приемник, усилитель с проигрывателем, магнитофон или трансляционная сеть. Для получения необходимой амплитуды сигнала на входе налаживаемого усилителя нужно воспользоваться делителем, схема которого показана на рис. 6. В этой схеме резистор R_1 служит для ограничения слишком высокого напряжения, которое может пробить эмиттерный переход первого транзистора; его величина должна составлять 300 *ком* при трансляционной сети 30 *в* и 150 *ком* — при 15 *в*, при пользовании другими источниками сигнала — в соответствии с их выходным напряжением, с тем чтобы максимальное напряжение низкой частоты на потенциометре R_2 не превышало 0,2 *в*. Конденсатор C_1 служит для компенсации действия входной емкости налаживаемого усилителя вместе с соединительными проводниками на высших частотах звукового диапазона, чтобы коэффициент деления напряжения был одинаков на всех частотах. Ориентировочно емкость конденсатора C_1 должна составлять 25 *пф* для трансляционной сети 30 *в*, 50 *пф* — для 15 *в*. Если она будет мала — на входе усилителя напряжение высших частот будет меньше, чем средних и низших, звук будет глухой, бубнящий, а при завышенной емкости, наоборот, приобретает звенящий металлический тембр. Конденсатор C_2 необходим для разделения делителя и усилителя по постоянному току, если подобный конденсатор отсутствует в схеме самого усилителя. Соединять дели-

тель напряжения и усилитель, особенно высокочувствительный, следует по возможности короткими, свитыми вместе проводниками в толстой (более 0,3 *мм*) изоляции, а еще лучше — экранированным проводом.

После сборки на макетной плате приемника или его отдельно налаживаемого блока обязательно проверяется правильность сборки, особенно включение полярных элементов — транзисторов, диодов, электролитических конденсаторов. Полезно при этом на принципиальной схеме помечать проверенные детали и цепи. Переменные резисторы, включенные вместо постоянных для уточнения их величины, следует установить в положение, соответствующее рекомендованному или расчетному сопротивлению или минимальному току через связанные с ними транзисторы или другие чувствительные к перегрузке элементы схемы; регулятор громкости устанавливается на максимум.

ОТРАБОТКА СХЕМЫ НА МАКЕТЕ

Предварительное налаживание схемы по постоянному току. На любой стадии налаживание следует производить начиная с последних каскадов, постепенно переходя к предыдущим. При этом удобно производить отработку по отдельным блокам, включающим как можно меньше элементов, выполняющим какую-либо определенную функцию и не зависящим по режиму от предыдущих каскадов, например выходной каскад, предварительные каскады низкой частоты (по одному, если возможно), весь усилитель низкой частоты в целом, каскады усиления высокой частоты, входные цепи.

Прежде всего устанавливается режим по постоянному току, для чего разрываются емкостные и индуктивные связи между каскадами (отпаиваются по одному выводу переходных межкаскадных конденсаторов, закорачиваются дроссели и первичные обмотки трансформаторов, кроме выходного). Это нужно для того, чтобы возможное самовозбуждение не исказило режима каскадов по постоянному току. В цепь питания включается миллиамперметр на ток, в 2—3 раза превышающий ожидаемый нормальный ток налаживаемой схемы, и переменный резистор, ограничивающий ток до максимально допустимого для наиболее уязвимого элемента схемы (например, если применены транзисторы с максимально допустимым током коллектора 15 *ма* и источник питания имеет напряжение 9 *в*, то резистор должен иметь сопротивление около 9/15 *ком*, т. е. 600 *ом*). Если питание производится от стабилизированного выпрямителя с ограничителем тока (рис. 4), то его следует устанавливать на соответствующий ток (ограничительный резистор в этом случае не нужен).

Если после подключения питания общий ток налаживаемой конструкции не превышает предельно допустимого для одного транзистора, то замеряется и грубо устанавливается ток каждого из них в соответствии с рекомендациями автора или расчетами конструктора (для усилительных каскадов он составляет 0,5—1,0 *ма*), затем исключается ограничительный резистор и токи транзисторов уточняются. Слишком большой ток при первом включении указывает на ошибку в монтаже, неисправность какой-либо детали или неправильную установку исходного режима переменным резистором.

Установка первоначального режима по постоянному току в несвязанных каскадах обычно не вызывает каких-либо затруднений, но в некоторых сложных схемах с гальванической связью (т. е. со

связью по постоянному току) нескольких транзисторов это не всегда просто.

Рассмотрим для примера схему на рис. 7. Режим транзистора T_1 определяется внешними цепями: напряжение на базе — резисторами R_1 и R_2, на коллекторе — R_3. Коллекторный ток задается напряжением на базе (т. е. R_1 и R_3), величина R_3 на него практически не влияет. Режим базы транзистора T_2 определяется внутренним сопротивлением по постоянному току транзистора T_1 и величиной R_3. Следовательно, не установив режима T_1, нельзя установить режим T_2. При наладке такой схемы необходимо начинать с первого каскада, отключив второй. Ток коллектора T_1 устанавливается при помощи резистора R_1, а затем регулировкой резистора R_3 устанавливается ток T_2.

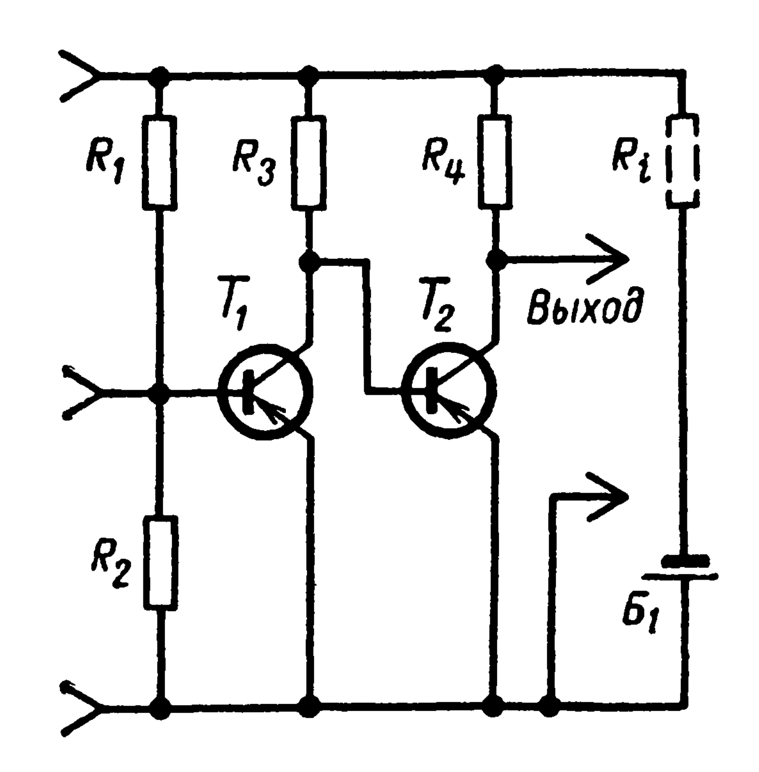


Рис. 7. Двухкаскадный усилитель с непосредственной связью.

Иногда применяются схемы и с большим числом каскадов, связанных отрицательной обратной связью по постоянному току. Если такие схемы собираются в соответствии с рекомендациями автора, то они обычно не нуждаются в установке режима каждого каскада — это осуществляется самой отрицательной обратной связью независимо от разброса коэффициентов усиления транзисторов в достаточно широких пределах. Но при самостоятельной разработке или приспособлении к другим условиям подобных схем установка режимов встречает трудности, поскольку режимы транзисторов часто оказываются взаимосвязанными и зависящими от нескольких сопротивлений в разных местах схемы. В этом случае полезно произвести предварительный расчет важнейших сопротивлений схемы.

В качестве исходных данных берется необходимое напряжение на базах транзисторов — падение напряжения на эмиттерном переходе при токе эмиттера около 1 *ма* для маломощных германиевых транзисторов составляет около 0,13 *в* (более точно это напряжение можно узнать по характеристикам транзисторов, приводимым в справочниках); к нему прибавляется падение напряжения на резисторе в цепи эмиттера (если он есть), которое вычисляется по закону Ома. Исходя из напряжения на базе, тока коллектора предыдущего транзистора и напряжения питания, с учетом падения напряжения на сопротивлениях фильтров и обратной связи (если они имеются), можно также по закону Ома подсчитать сопротивление нагрузки предыдущего каскада (оно будет базовым сопротивлением для рассчитываемого каскада). Установив переменные резисторы макета на расчетное сопротивление, проверяют величину фактических токов коллекторов (с учетом, как об этом говорилось ранее, внутреннего сопротивления измерительного прибора). Если эти токи существенно отличаются от заданных (обычно вполне допустимо отклонение на ±20%), они корректируются поочередной регулировкой сопротивле-

ний резисторов, причем для регулировки тока какого-либо каскада нужно преимущественно пользоваться резистором, который влияет на него наиболее сильно. Степень влияния каждого резистора на все транзисторы можно установить небольшим поочередным изменением каждого резистора и наблюдением за соответствующим изменением тока каждого транзистора, причем остальные переменные резисторы должны быть возвращены в исходное положение. Эту операцию удобнее всего осуществлять, поочередно включая последовательно с резистором (сопротивление которого требуется уточнить) дополнительный резистор с сопротивлением 10—20% основного. После каждого такого включения записывается изменение тока каждого транзистора, на основе этих записей и выявляются наиболее связанные между собой транзисторы и резисторы. Корректировка токов транзисторов должна производиться этими резисторами поочередно, небольшими ступенями, при наблюдении за режимом каждого транзистора.

Установленные на этом этапе макетирования постоянные токи транзисторов являются лишь исходными, обеспечивающими работоспособность схемы, они уточняются затем при налаживании по низкой или высокой частоте. Но уже при этом полезно принять во внимание некоторые общие соображения, приводимые далее.

Величина тока коллектора транзистора, работающего в обычной усилительной схеме (в режиме А) должна прежде всего соответствовать величине сигнала. Напряжение смещения на базе, от которого зависит ток коллектора, должно превышать амплитудное напряжение сигнала не менее чем на 0,10—0,12 *в* (для германиевых маломощных транзисторов), иначе будет велико искажение положительного (для транзисторов *р-п-р*) полупериода входного напряжения. С другой стороны, при слишком большом смещении и сильном сигнале возможно чрезмерное уменьшение напряжения на коллекторе и возникнут искажения положительного полупериода уже выходного напряжения.

Следовательно, минимальный ток коллектора должен быть пропорционален входному напряжению сигнала, а максимальный ток определяется падением постоянного и переменного выходного напряжения на коллекторной нагрузке, при данной ее величине и напряжении питания.

Уменьшение тока повышает экономичность, увеличивает входное и выходное сопротивления каскада, чувствительность к воздействию внешних причин (температуры, напряжения питания, сигнала АРУ), усиление по напряжению — если при этом увеличивается и сопротивление нагрузки, а также уменьшает собственные шумы транзистора. Увеличение же тока приводит к противоположным последствиям.

Практически при усилении очень слабых сигналов во входных каскадах чувствительных усилителей минимальная величина тока коллектора выбирается около 0,1—0,3 *ма*, а максимальная ограничивается шумами транзистора. Коллекторный ток промежуточных каскадов составляет обычно 0,5—1,5 *ма* (меньшие значения при более высоком напряжении питания), а ток однотактного выходного каскада подбирается в зависимости от сопротивления нагрузки и напряжения питания.

Выбор режима должен учитывать и необходимость обеспечения нормальной работы приемника при истощении батареи, изменении температуры, смене транзисторов и т. д. Если, например, в результате повышения температуры сильно увеличится ток коллектора, на-

пряжение на нем может чрезмерно уменьшиться, а при понижении температуры может недопустимо уменьшиться ток базы. И в том, и в другом случае возникнут искажения сигнала. Таким образом, применение плохо стабилизированных схем понижает экономичность приемника и степень использования усилительных возможностей транзисторов из-за необходимости увеличения резерва по току и напряжению.

Налаживание по низкой частоте. Налаживание по низкой частоте начинается с выходного каскада. Главное требование к выходному каскаду — получение необходимой выходной мощности при допустимых искажениях и максимальной экономичности.

Качество звучания приемника помимо акустических свойств громкоговорителя и корпуса определяется степенью искажения сигнала в самом усилителе по амплитуде (по соответствию формы выходного напряжения входному), частоте (по равномерности усиления всех частот в заданной полосе) и фазе (по равенству сдвига фазы всех усиливаемых частот на выходе по сравнению со входом).

Амплитудные искажения вызывают появление на выходе усилителя частот, отсутствующих на входе, что выражается в хрипах, дребезжании и других посторонних звуках. Частотные искажения вызывают изменение тембра звука — ухудшение разборчивости речи при чрезмерном усилении низших частот по сравнению с остальными; шипящий, излишне звонкий металлический звук при преобладании высших частот; тусклый, невыразительный звук при ослаблении низших и высших частот по сравнению со средними. Фазовые искажения на слух незаметны, но их влияние проявляется при введении в усилитель отрицательной обратной связи по низкой частоте (для уменьшения амплитудных и частотных искажений, повышения устойчивости усиления и улучшения других его параметров); если фазовые искажения велики, то обратная связь на одних частотах будет отрицательной, а на других — положительной, и вместо улучшения характеристик усилителя произойдет их ухудшение и даже может возникнуть самовозбуждение. Таким образом, фазовые искажения не дают возможности ввести глубокую отрицательную обратную связь и тем самым улучшить характеристики усилителя.

Амплитудные искажения возникают из-за нелинейности характеристик транзистора и других элементов схемы, т. е. при условии, если выходной сигнал не прямо пропорционален входному (при разной амплитуде сигнала коэффициент усиления не одинаков), поэтому они часто называются также нелинейными искажениями. В основном это происходит при несоответствии режима по постоянному току уровню сигнала. Узнать, соответствует ли режим транзистора в однотактном каскаде величине усиливаемого сигнала, можно по изменению тока коллектора при постепенном увеличении сигнала. Для этого на вход налаживаемого каскада от какого-либо генератора (например, описанного ранее мультивибратора) подается постепенно усиливающийся сигнал, вплоть до максимального для данной схемы. Если коллекторный ток при этом, начиная с какого-то уровня сигнала, начнет увеличиваться, это значит, что положительная полуволна (для транзистора *p-n-p* типа) сигнала стала больше по абсолютной величине отрицательного смещения на базе и она в этом момент запирается, а отрицательная полуволна усиливается нормально, т. е. усилитель превращается в детектор по цепи базы. Следовательно, для возвращения в линейный режим необходимо увеличить отрица-

тельное напряжение на базе, вследствие чего увеличится и ток коллектора.

Уменьшение тока коллектора с увеличением сигнала указывает на чрезмерное открывание транзистора в максимум отрицательного полупериода входного напряжения, когда коллекторный ток уже не может увеличиваться, так как практически все напряжение источника питания в соответствии с законом Ома теряется на коллекторной нагрузке и наступает ограничение напряжения в цепи коллектора. Происходит детектирование в цепи коллектора, вследствие чего положительная на базе полуволна сигнала усиливается нормально, а отрицательная ограничивается. Чтобы этого не происходило, нужно увеличить постоянное напряжение на коллекторе, т. е. уменьшить смещение на базе (или уменьшить сопротивление нагрузки при том же напряжении источника питания); при этом уменьшится падение напряжения на нагрузке.

Если ток коллектора при увеличении сигнала не меняется, а сигнал все же начинает искажаться (при работе с мультивибратором при этом появляется довольно отчетливый призвук), это может быть свидетельством одновременного и одинакового ограничения как по цепи базы, так и коллектора. Следовательно, для данного сопротивления нагрузки рабочая точка выбрана правильно, но амплитуда входного сигнала слишком велика. Если выходная мощность при этом меньше желаемой, то необходимо уменьшить сопротивление нагрузки и соответственно увеличить смещение на базе, причем мощность, рассеиваемая транзистором, не должна превышать предельно допустимой. Во всех случаях имеется в виду сопротивление нагрузки на частоте усиливаемого сигнала, а не для постоянного тока, эти два сопротивления равны лишь при активной нагрузке (резисторе). При индуктивной нагрузке сопротивление ее переменному току может быть во много раз больше, чем постоянному.

Амплитудные искажения могут возникнуть также и в нагрузке усилительного каскада, если ее свойства зависят от уровня сигнала. Это имеет место в трансформаторах и других катушках с ферромагнитными сердечниками, если они чрезмерно намагничиваются переменным или постоянным током, а также близко расположенным магнитом (например, громкоговорителем). Для уменьшения таких искажений необходимо увеличить сечение магнитопровода, а при протекании по обмотке большого постоянного тока — применять сердечник с воздушным зазором. Магнитное поле громкоговорителя может быть ослаблено соответствующим его размещением, экранированием железом (жестью), но прежде всего выбором более подходящего громкоговорителя. Сам громкоговоритель может быть также источником искажений, особенно при перегрузке и при протекании по его звуковой катушке постоянного тока.

В выходных каскадах со скользящей рабочей точкой (рис. 8) сначала подбирается режим при слабом сигнале (попеременно резисторами R_1 и R_3), а затем при максимальном (резистором R_2). При этом лучше воспользоваться какой-либо музыкальной программой, а не источником сигнала с постоянной амплитудой, иначе за время налаживания выходной транзистор может перегреться, если в пиках громкости он работает за пределами максимально допустимого тока или мощности (что вообще допустимо).

Если в однотактном каскаде используется динамический громкоговоритель без согласующего трансформатора, то его мощность должна быть по крайней мере в два раза больше, чем выходная мощ-

ность усилителя, иначе при протекании постоянного тока по звуковой катушке она будет вытеснена из магнитного зазора и возникнут сильные искажения сигнала. В этом случае иногда помогает изменение полярности включения громкоговорителя. Качество работы электромагнитных громкоговорителей (на основе капсулей ДЭМ, ДЭМШ, телефонных и т. п.) зависит от полярности включения еще сильнее.

Специфические искажения могут возникнуть в двухтактных каскадах, если усиление обоих плеч не будет одинаково из-за несимметричности обмоток переходного и выходного трансформаторов или характеристик транзисторов.

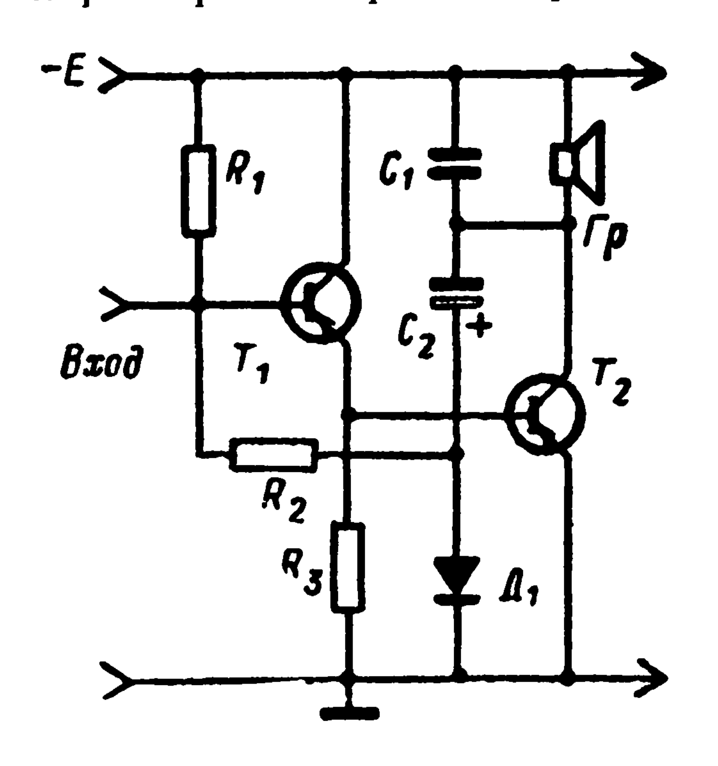


Рис. 8. Выходной каскад со скользящей рабочей точкой.

Оба транзистора двухтактного трансформаторного каскада должны потреблять одинаковый ток без сигнала (ток покоя) и при сигнале разного уровня. Для проверки симметричности схемы можно между коллекторами транзисторов включить вольтметр постоянного тока. Если у какого-либо транзистора ток окажется меньше, потенциал его коллектора будет более отрицательным (при транзисторах *p-n-p*) при равенстве коллекторных нагрузок. Неравенство токов может быть вызвано несимметричностью вторичных обмоток согласующего трансформатора, первичных обмоток выходного трансформатора или характеристик транзисторов, а также и сочетанием этих причин. Если при поочередном переключении обмоток трансформаторов изменяется знак, но не разность напряжений, то несимметрична переключенная обмотка. Если полярность напряжения и его значение не изменяется — неодинаковы транзисторы. Если же меняется напряжение между коллекторами и возникает комбинированная несимметричность — неодинаковы и обмотки, и транзисторы. Считается, что искажение сигнала из-за несимметричности каскада не превышает допустимого, если токи транзисторов отличаются не более чем на 20%. В простейшем случае можно попытаться компенсировать одну несимметричность другой, но предпочтительнее перемотать несимметричный трансформатор (совершенно симметричные обмотки получаются при намотке их в два провода) или заменить его, подобрать парные транзисторы. Транзисторы должны быть близки и по обратному току коллектора $I_{к0}$, иначе их симметричность нарушится при изменении температуры.

Регулировка тока покоя производится подбором резистора R_1 (рис. 9); резистор R_2 включен по отношению к сигналу последовательно со входом транзистора, его увеличение уменьшит напряжение сигнала на базе и увеличит искажения за счет повышения входного сопротивления, а при уменьшении R_2 увеличивается ток, потребляемый делителем R_1R_2, что понижает экономичность усилителя. Поэтому сопротивление резистора R_2 в маломощных усилителях выбирается в пределах 100—200 *ом* и не меняется при налаживании.

Источник низкой частоты (описанный ранее мультивибратор, де-

литель напряжения трансляции и т. п.) подключается к коллектору предвыходного каскада, причем первичная обмотка освобождается от замыкания и сопротивление резистора R_1 постепенно увеличивается до изменения характера звука, особенно заметного при очень слабом и монотонном сигнале. Но уменьшить R_1 только до исчезновения искажения нельзя — при истощении батареи или уменьшении температуры ток смещения, если он не стабилизирован, уменьшится и искажения возникнут снова. Поэтому сопротивление резистора R_1 необходимо подбирать при наименее благоприятных условиях, при которых намечено использовать приемник, например, при пониженном напряжении, питании и пониженной температуре.

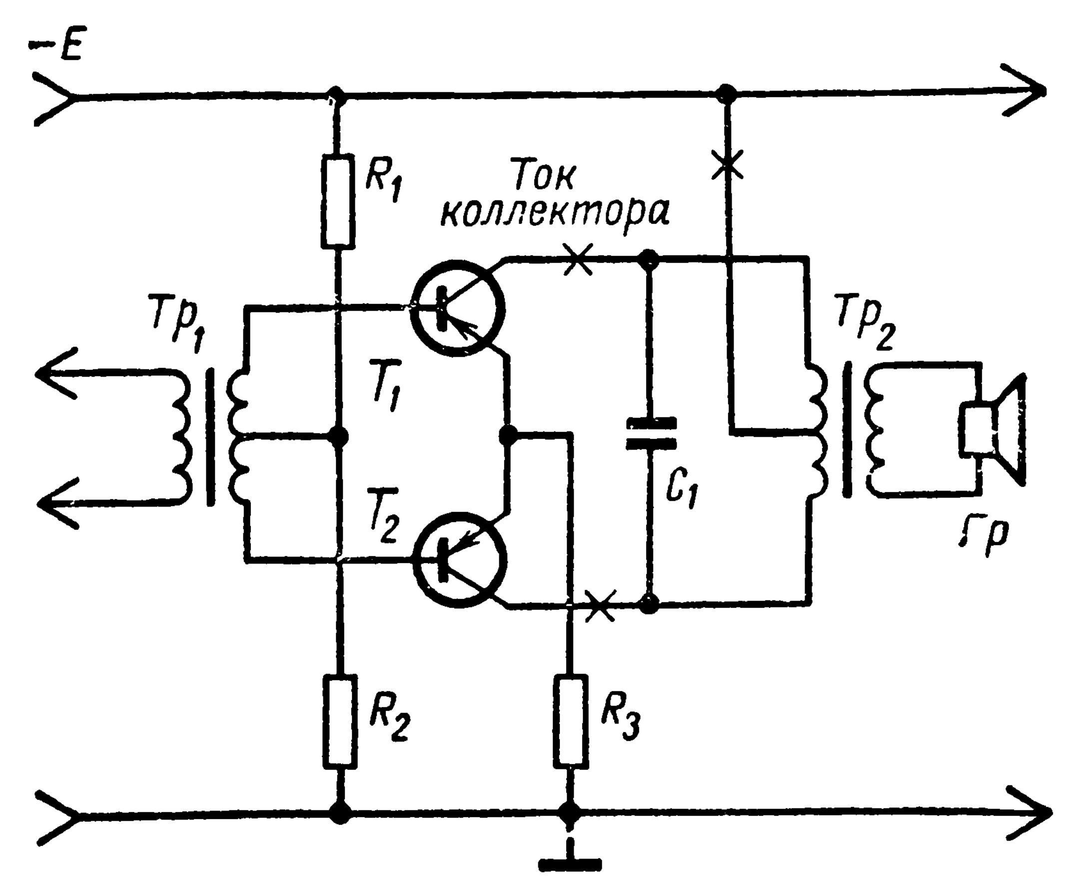


Рис. 9. Выходной двухтактный трансформаторный каскад.

Понижение температуры транзисторов при налаживании можно осуществить плотным контактом на 1—2 *мин* с массивным металлическим предметом, предварительно охлажденным в холодильнике; менее удобно охлаждение в холодильнике всего макета (при этом надо опасаться последующего запотевания его в теплом влажном воздухе, влага может нарушить изоляционные свойства материалов макета и самих деталей). Может оказаться, что возвращение к режиму максимальных напряжений и температуры (повысить температуру можно прикосновением пальцев к корпусам транзисторов) вызовет такое увеличение тока покоя транзисторов, что экономичность каскада значительно снизится. Это значит, что схема непригодна к работе при таких перепадах напряжения и температуры и необходимо либо ввести стабилизацию, либо использовать приемник в менее жестких условиях.

Во всех случаях проверки термостабильности необходимо одновременно с изменением температуры транзисторов в той же мере изменять и температуру термостабилизирующих элементов.

Наладка бестрансформаторного выходного каскада производится в комплексе со связанными с ним гальванической связью предварительными каскадами. При этом необходимо установить одинаковое

напряжение на каждом из выходных транзисторов, для чего на нагрузке предварительного каскада (R_5 на схеме рис. 10) должна гаситься половина питающего напряжения. Равенство напряжений устанавливается либо подбором сопротивления нагрузки предварительного каскада, либо изменением его тока (при помощи R_1 или R_2 рис. 10), но величина этого тока должна быть не менее 1/2—1/3 тока баз выходного каскада.

Ток покоя транзисторов прямой и обратной проводимости устанавливается подбором сопротивления резистора, установленного между их базами, при данном токе предвыходного каскада. Если вместо этого резистора применен диод, то подбирается наиболее подходящий экземпляр диода или он шунтируется резистором, что несколько ухудшает стабилизацию. В небольших пределах падение напряжения на диоде можно изменить, подбирая величину коллекторного тока предвыходного каскада.

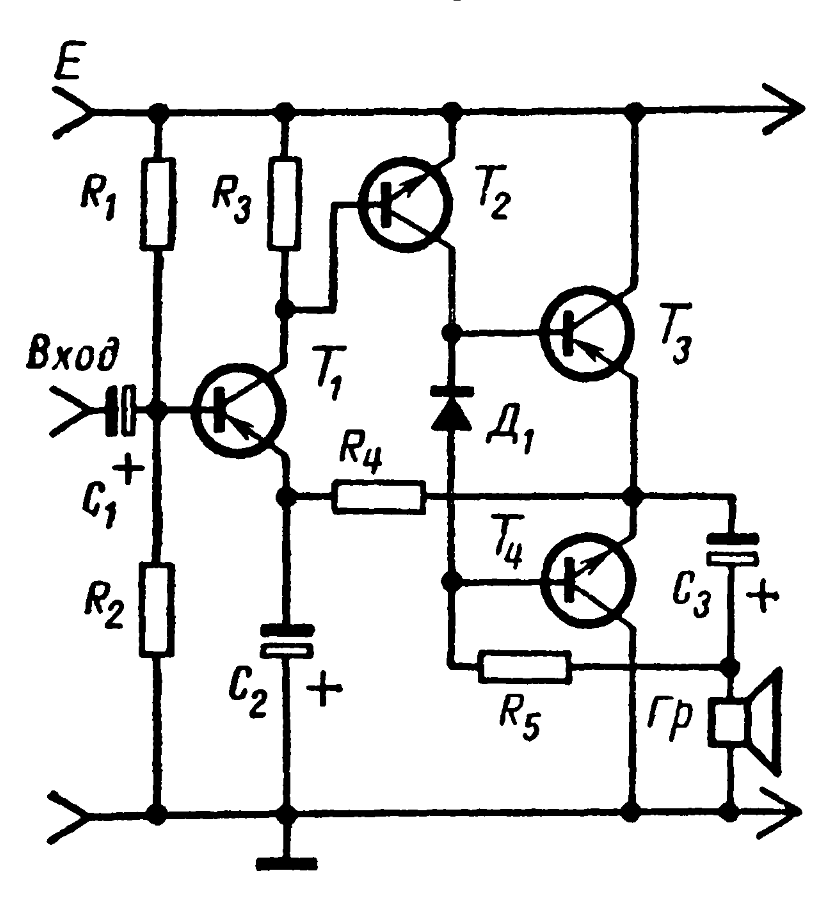


Рис. 10. Бестрансформаторный усилитель.

После налаживания выходного каскада можно приступить и к налаживанию предварительных, лучше по одному, начиная с предвыходного, для чего на базу налаживаемого каскада подается напряжение низкой частоты. Уровень сигнала подбирается таким, чтобы выходной каскад работал с максимальной мощностью, при этом предварительные каскады не должны увеличивать искажения, для чего они должны работать в линейном режиме.

Если при подсоединении очередного каскада в громкоговорителе возникает шум, стук, свист или другие, явно ненормальные для конструкции звуки, ток транзистора сильно изменится или будет пульсировать, то это является признаком возникновения положительной обратной связи по низкой частоте или по постоянному току, если подключенный конденсатор связи между каскадами имеет сильную утечку (особенно это относится к электролитическим конденсаторам, включенным в неправильной полярности). Если конденсатор исправен и включен правильно, то приступают к поиску цепи положительной обратной связи по переменному току. Прежде всего следует рассмотреть принципиальную схему усилителя с этой точки зрения. Для этого на вход усилителя нужно «подать» воображаемый импульс любой, например положительной, полярности — около базы первого транзистора ставится значок «+». Каскад с общим эмиттером переворачивает фазу сигнала — около коллектора ставится «—», а около эмиттера «+», каскад с общим коллектором фазу не меняет. Таким же образом размечается вся схема, в том числе и внутреннее сопротивление батареи (R_i), на котором также происходит падение напряжения переменного тока. Поскольку схемы включения тран-

зистора по переменному и постоянному току совпадают далеко не всегда, полезно сделать две разметки, видоизменив значки для постоянного тока.

Если обойдя всю схему или какую-либо ее часть, импульс вернется к одному из предыдущих каскадов с тем же знаком в цепь базы или с обратным в цепь эмиттера; то налицо положительная обратная связь, здесь следует опасаться самовозбуждения или повышения нестабильности по постоянному току.

Рассмотрим, например, схему простого усилителя низкой частоты (рис. 11). Как видно по знакам импульсов на рисунке фаза их

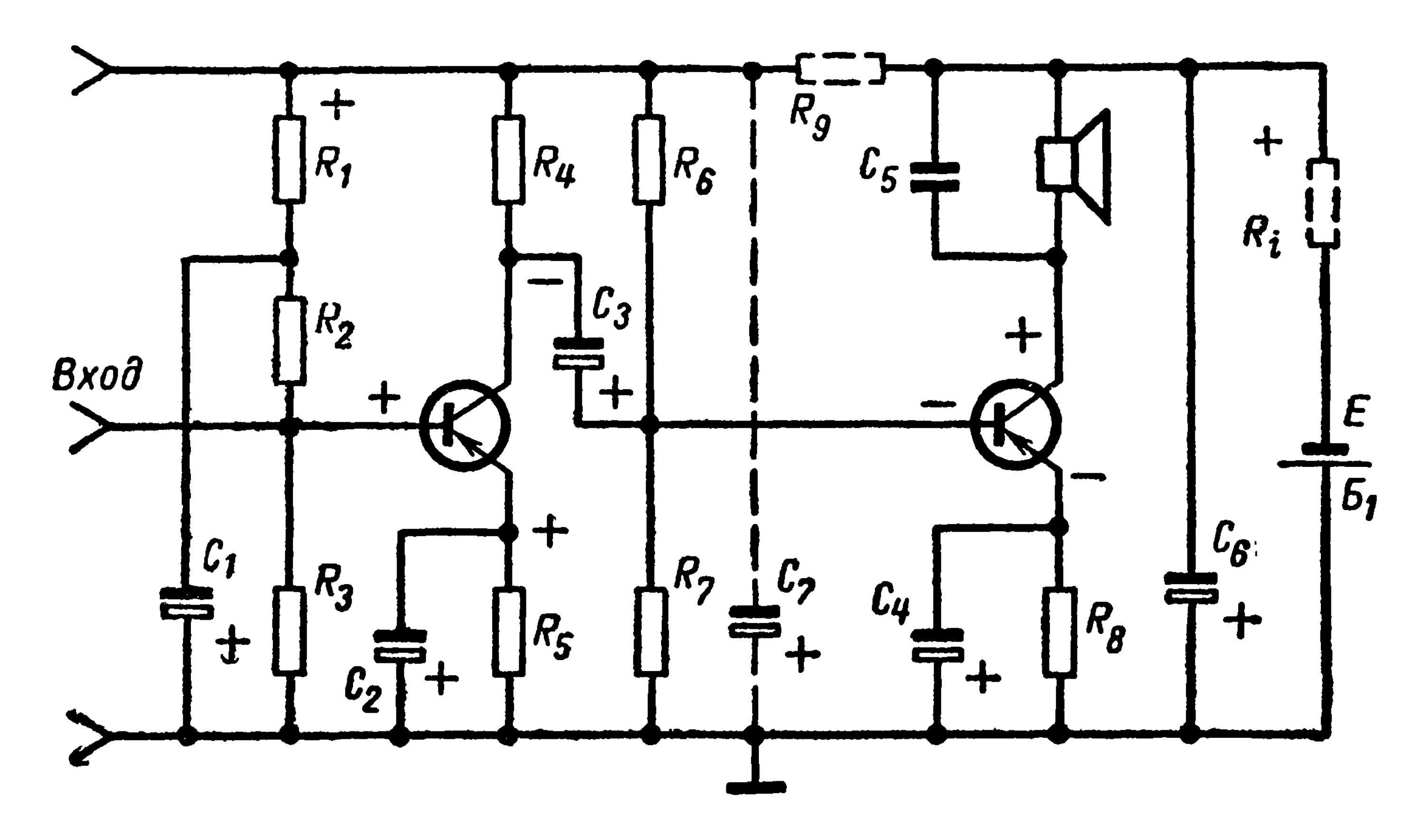


Рис. 11. Двухкаскадный усилитель с резистивно-емкостной связью.

на внутреннем сопротивлении батареи (определяемая по последнему каскаду, так как он развивает наибольшее напряжение сигнала) и на входе схемы одинакова, следовательно, здесь может возникнуть положительная обратная связь. Для предотвращения ее применен блокирующий батарею конденсатор C_6. Конденсатор большой емкости слишком громоздок для миниатюрной конструкции, а конденсатор приемлемых размеров может не обеспечить замыкания самых низших частот (вплоть до инфразвуковых), особенно при старой батарее с повышенным внутренним сопротивлением. Самовозбуждение на низших частотах на слух напоминает стук тихоходного мотора, а на инфразвуке проявляется в виде ритмического пощелкивания и пульсации коллекторного тока. Для дополнительной развязки входа от выхода применен фильтр R_1C_1, который препятствует проникновению выходного сигнала на базу первого транзистора. Если при налаживании самовозбуждается подобная схема, не имеющая такого фильтра, то его нужно установить. Чем больше емкость C_1 и сопротивление R_1, тем лучше фильтрация, но емкость C_1 также ограничена размерами конденсатора, а резистор R_1 входит в цепь питания базы по постоянному току и увеличивать его сопротивление можно только за счет R_2, что допустимо лишь до определенных пределов, иначе часть входного сигнала, минуя базу T_1, уйдет на землю через C_1. Если невозможно увеличить емкости C_1, C_6 и сопротивление R_1, то следует уменьшить усиление схемы на низших частотах путем

уменьшения емкостей C_2, C_3 и C_4. В трансформаторных схемах самовозбуждение часто устраняется сменой знака обратной связи с положительной на отрицательную переключением между собой выводов первичной обмотки согласующего трансформатора, что меняет фазу сигнала в выходном каскаде, а следовательно, и на R_i. Фильтр R_1C_1 защищает только первый каскад усилителя, что в данной схеме рационально, но в более сложных схемах в защите нуждаются и другие каскады. Для этого между нагрузкой выходного каскада и всей остальной схемой в разрыв общего минусового провода включается общий фильтр — дополнительные резистор R_9 и конденсатор C_7 (на рис. 11 они показаны пунктиром). Сопротивление резистора ограничивается допустимым падением напряжения, а емкость — размерами конденсатора.

Гораздо лучшие результаты дает фильтр, в котором R_9 заменен диодом, включенным в проводящем направлении. Максимально допустимый ток его должен превышать ток, потребляемый предварительными каскадами, а прямое сопротивление диода предпочтительно иметь минимально возможным, в остальном параметры его несущественны. В момент минимального потребления тока выходным каскадом напряжение батареи максимально и больше напряжения на C_7, который и заряжается в этот момент через малое прямое сопротивление диода. В момент максимального потребления тока увеличивается падение напряжения на внутреннем сопротивлении батареи и ее напряжение становится меньше, чем на C_7, но в обратном направлении сопротивление диода очень велико и заряд конденсатора не может уйти обратно. Если емкость конденсатора C_7 достаточно велика и ток предварительных каскадов не успевает разрядить ее в момент спада напряжения, то напряжение на ней будет выше среднего за весь период напряжения батареи и может достигнуть максимального. В отличие от диода сопротивление резистора одинаково в обе стороны, оно не позволит конденсатору полностью зарядиться в момент максимального напряжения, а при минимальном напряжении часть заряда конденсатора уйдет обратно на выходной каскад, поэтому напряжение на C_7 будет меньше среднего на величину падения его на R_9.

Самовозбуждение на высших частотах звукового диапазона и даже на ультразвуковом диапазоне возможно из-за емкостных положительных обратных связей между последними и первыми каскадами при их неправильном расположении. Во время макетирования вследствие свободного размещения деталей оно встречается редко. Источником такого самовозбуждения могут служить также цепи отрицательной обратной связи, если они или сам усилитель создают большие фазовые искажения (об этом говорилось ранее). Фазовые искажения, так же как и частотные, зависят от величины переходных и блокирующих емкостей, собственных емкостей обмоток трансформаторов и их индуктивностей.

Самовозбуждение на звуковых частотах проявляется в виде свистов различной тональности, а на ультразвуковых — в виде сильного шипения, хриплого воспроизведения звука. В обоих случаях часто изменяется режим транзисторов по постоянному току из-за слишком высокого уровня сигнала при самовозбуждении, приводящего к нарушению линейности усиления. Для ликвидации такого самовозбуждения следует уменьшить глубину отрицательной обратной связи, если она является источником самовозбуждения, тщательно подобрать элементы ее цепи, уменьшить усиление схемы на высших

звуковых и ультразвуковых частотах. Для этого нужно шунтировать емкостями 1000—6800 *пф* коллекторные нагрузки, особенно первичные обмотки согласующего и выходного трансформаторов или высокоомный громкоговоритель. Иногда лучшие результаты достигаются при включении емкости 200—1000 *пф* между коллектором и базой транзистора. В двухтактных трансформаторных схемах применяются емкости до 0,05 *мкф* для шунтирования первичной обмотки выходного трансформатора и до 15 000 *пф* для включения между коллекторами и базами. Указанные емкости влияют на частотную характеристику усилителя, поэтому они уточняются в зависимости от качества звучания при окончательной наладке приемника уже в корпусе, так как звучание сильно зависит от корпуса и размещения в нем деталей, т. е. от акустических свойств окружающей громкоговоритель среды.

Налаживание усилителя высокой частоты. Налаживание усилителя высокой частоты также начинается с последнего каскада. Для этого на его вход следует подать сигнал от мультивибратора и уточнить коллекторный ток с таким расчетом, чтобы при максимальной выходной мощности усилителя низкой частоты и максимальном положении регулятора громкости каскад не возбуждался и ток коллектора при изменении уровня сигнала не менялся (цепь АРУ должна быть отключена).

Налаживание первого каскада производится при подаче сигнала от мультивибратора на входной контур при помощи небольшой катушки, как об этом говорилось ранее (стр. 29). Сначала весь усилитель проверяется на отсутствие самовозбуждения без внешнего сигнала, затем вводится слабый сигнал и уточняются режимы транзисторов с целью получения максимального усиления без самовозбуждения. Далее сигнал постепенно усиливается до получения максимальной мощности на выходе. Самовозбуждение высокочастотных каскадов возникает чаще всего при неправильном размещении их элементов и соединительных проводников, а также из-за слишком большого сопротивления для токов высокой частоты коллекторной нагрузки.

Паразитную связь между элементами схемы можно обнаружить по изменению силы и характера самовозбуждения при внесении между подозреваемыми элементами медного, латунного или алюминиевого листка, соединенного с общим приводом. Такой листок является экраном для электромагнитного высокочастотного поля. Индуктивная связь обнаруживается, кроме того, при перемещении и поворачивании катушки относительно других элементов схемы. Наиболее чувствительны к внешним магнитным полям и сами интенсивнее создают их катушки с незамкнутыми (стержневыми) ферромагнитными сердечниками, прежде всего магнитная антенна. Наименее активны в этом отношении катушки на кольцеобразных сердечниках, но только в тех случаях, когда сердечник однороден (без склеек и трещин), а обмотки распределены по нему совершенно равномерно.

Самовозбуждение при слишком большом сопротивлении нагрузки возникает из-за паразитной обратной связи через емкость коллектор — база. Чем эта ёмкость меньше, тем устойчивее работает транзистор. Емкость уменьшается при повышении постоянного напряжения на коллекторе, уменьшение коллекторного тока также увеличивает устойчивость транзистора к самовозбуждению.

Самовозбуждение часто возникает при индуктивной нагрузке. Самовозбуждение при индуктивной нагрузке можно устранить сни-

жением ее сопротивления — уменьшением числа витков, шунтированием резистором, увеличением связи с последующим каскадом или детектором (увеличением числа витков вторичной обмотки трансформатора). Если возбуждается каскад с индуктивностями в цепях и коллектора и базы, то очень полезным может оказаться включение резистора сопротивлением 100—1000 *ом* между базой и катушкой. Наиболее эффективно применение одновременно нескольких таких мер.

Если самовозбуждение возникает только при сильных сигналах, то целесообразно уделить особое внимание автоматической регулировке усиления. Хорошие результаты может дать экранировка последнего каскада усилителя высокой частоты вместе с детектором. Экран можно изготовить из медной или латунной фольги, оклеенной изнутри тонкой бумагой или покрытой лаком для предотвращения замыканий с экранируемыми элементами. Экран подсоединяется к общему проводу. Кроме того, следует уточнить расположение деталей на макете, установить между усилителем высокой частоты и остальной схемой в разрыв минусового провода фильтр из резистора около 1 *ком* и емкости (конденсатор лучше взять керамический) в 0,01—0,05 *мкф*.

Во многих приемниках применяются дроссели и трансформаторы высокой частоты на ферритовых кольцах. Радиолюбители обычно пользуются кольцами, параметры которых (размеры, магнитная проницаемость, потери и т. п.) не соответствуют приведенным в описании и возникает проблема получения нужной индуктивности на имеющемся кольце, причем эта индуктивность обычно неизвестна. В этом случае при налаживании необходимо подобрать нужное число витков обмоток и коэффициент трансформации.

Коэффициент трансформации при макетировании удобнее всего подбирать при помощи специально изготовленного трансформатора с отводами от обмоток. Одна обмотка такого трансформатора должна содержать примерно 100 витков с отводом от 40-го витка, следовательно, возможно сделать выбор обмотки из 40, 60 и 100 витков. Другая обмотка должна иметь около 200 витков с отводами от 20 и 70-го витка (выбор из 20, 50, 70, 130, 180 и 200 витков). Комбинируя обмотки и отводы, можно иметь достаточный выбор индуктивностей и коэффициентов трансформации. Обмотки проводом ПЭЛШО 0,1—0,12 на испытуемом или однотипном кольце располагаются равномерно по всей окружности, само кольцо прикрепляется клеем или винтом к панельке с пистонами или штифтами, к которым подпаиваются отводы от обмоток и проводники для подсоединения к схеме. Впоследствии на кольцо, предназначенное к установке в приемник, наматывается новый трансформатор или дроссель с подобранным количеством и соотношением витков в обмотках (без отводов) и подсоединяется к схеме.

Чтобы узнать, соответствует ли индуктивность обмоток оптимальной, к трансформатору или дросселю при включенном приемнике нужно постепенно приблизить постоянный магнит (лучше из феррита бария). Магнитная проницаемость ферритового кольца при этом существенно понижается (в зависимости от степени намагничивания) и индуктивность обмоток соответственно уменьшается, таким образом можно плавно регулировать индуктивность любых катушек с ферритовыми сердечниками. При удалении магнита величина индуктивности увеличивается практически до прежней. Если при приближении магнита работа приемника улучшается (работу его не-

обходимо проверить по всему рабочему диапазону), то, следовательно, индуктивность обмоток велика и количество витков нужно убавить (у трансформатора уменьшаются пропорционально обе обмотки), если же работа сильно ухудшается — обмотки нужно увеличить.

Обычно индуктивность обмоток некритична и катушки не приходится перематывать много раз. При правильно подобранных индуктивностях чувствительность приемника по всему диапазону не должна сильно меняться. Оценить равномерность усиления по диапазону можно, подавая сигнал постоянного уровня от мультивибратора на магнитную антенну и наблюдая за напряжением переменного тока на нагрузке выходного каскада (если он работает в режиме В, то по потребляемому им току).

Налаживание детекторных каскадов. Наиболее часто применяемые диодные детекторы обычно работоспособны без особой доработки, но она может существенно повысить эффективность детектирования. Налаживать детектор предпочтительно уже после окончания налаживания усилителя высокой частоты или одновременно с ним, так как работа этих узлов приемника тесно связана.

Налаживание диодного или транзисторного детектора без смещения заключается в подборе оптимального коэффициента трансформации выходного ВЧ-трансформатора, уточнении емкости и сопротивления фильтра высокочастотной составляющей детектирования. Коэффициент трансформации уточняется при приеме по возможности самого слабого сигнала, а при сильном сигнале проверяется отсутствие самовозбуждения и искажений. И то, и другое обычно зависит не от детектора, а от усилителей высокой и низкой частоты, но иногда является следствием плохой фильтрации высокой частоты после детектора и большой разницы сопротивления нагрузки диодного детектора низкой частоте и постоянному току. В последнем случае нужно при отсутствии системы АРУ уменьшить сопротивление нагрузки постоянному току. При наличии системы АРУ для сохранения ее эффективности может оказаться более целесообразным увеличить сопротивление нагрузки низкой частоте введением в первый каскад усилителя низкой частоты отрицательной обратной связи по току (резистора сопротивлением 50—200 *ом*, не шунтированного конденсатором, в цепь эмиттера) или последовательно с базой резистора сопротивлением в несколько килоом.

В транзисторном детекторе без смещения подбирается коэффициент трансформации при слабом сигнале и сопротивление коллекторной нагрузки по минимуму искажений при сильном сигнале.

Налаживание детекторов со смещением отличается только подбором величины этого смещения по наибольшей чувствительности при слабом сигнале, одновременно необходимо уточнять и коэффициент трансформации, так как входное сопротивление детектора сильно меняется при изменении смещения.

При налаживании всего приемника в целом иногда, а в малогабаритных конструкциях очень часто, возникает самовозбуждение из-за плохой фильтрации высокой частоты после детектирования. Она может усилиться в усилителе низкой частоты и вызвать его самовозбуждение, а также самовозбуждение высокочастотной части из-за обратных паразитных связей между элементами этих усилителей. Для улучшения фильтрации увеличивают сопротивление и (или) емкость фильтра (C_1 и R_1 на рис. 12, *а*), но их чрезмерное увеличение может привести к подавлению высших звуковых частот и ухудше-

нию качества звука, а также к увеличению потерь и на других частотах. Целесообразно установить дополнительное звено фильтрации (рис. 12, *б*) или заменить резистор фильтра на высокочастотный дроссель — ферритовое колечко с 200—300 витками провода, лучше марки ПЭЛШО, для уменьшения межвитковой емкости.

Настройка резонансного контура. Настройку резонансного контура на нужный диапазон частот удобнее всего производить при помощи другого, работающего приемника с требуемым диапазоном частот и с градуированной в килогерцах или метрах шкалой настройки. Особенно желательно, чтобы приемник имел индикатор настройки.

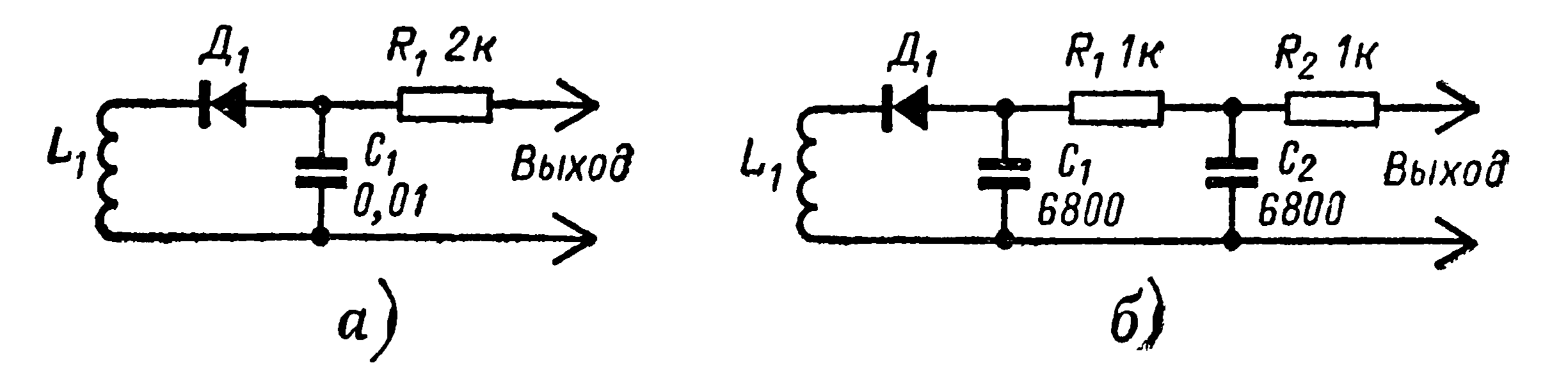


Рис. 12. Детекторные диодные каскады.
а — с однозвенным фильтром; *б* — с двухзвенным фильтром.

Первый каскад настраиваемого приемника доводится до генерации, для чего между коллектором транзистора этого каскада и остальной частью схемы включается катушка из 2—5 витков изолированного гибкого провода с длинными выводами. Она надевается на стержень магнитной антенны с противоположной стороны от катушки связи с базой. При правильном направлении витков катушки обратной связи чувствительность приемника будет значительно увеличиваться по мере приближения этой катушки к стержню и, наконец, наступит генерация. Ее появление будет заметно по свисту переменной тональности, сопровождающему настройку на какую-либо станцию. Кроме того, изменится величина коллекторного тока. Впрочем, если радиолюбитель делает не первый приемник, он хорошо знаком с признаками самовозбуждения. Если при приближении и даже надевании катушки обратной связи на стержень антенны генерация не наступает, катушку следует перевернуть на 180°. Положение и количество витков катушки выбирается таким, чтобы генерация была устойчивой, но на грани срыва. При слишком сильном возбуждении генерируется не только резонансная частота контура, но и ее гармоники, возникает опасность ложной настройки.

Генерирующий приемник превращается в маломощный передатчик; его работу можно обнаружить вспомогательным приемником. Если к антенному входу вспомогательного приемника подсоединить кусок провода, расположенный около генерирующего контура, то при настройке приемника на частоту генерации индикатор настройки укажет момент точной настройки, а в громкоговорителе появится шипение, характер которого меняется при поднесении руки к генерирующему транзистору. Определив, таким образом, частоту генерации контура, легко подогнать ее к нужному значению. Но если количество витков катушки контура была взято с большим запасом, то минимальная частота генерации окажется далеко за пределами диапазона контрольного приемника. Поэтому нужно вначале настроить его на нижнюю границу требуемого диапазона и затем, следя за сохранением режима генерации, конденсатором переменной

емкости настроить контур на ту же частоту. По положению ротора конденсатора можно грубо оценить расстройку контура и количество лишних витков его катушки.

Если контрольный приемник малогабаритный, с магнитной антенной, то можно применить для настройки метод адсорбции, т. е. поглощения генерируемой энергии резонансным контуром. Контрольный приемник для этого следует расположить, не включая, около настраиваемого контура, чтобы оси магнитной антенны приемника и контура были параллельны (на расстоянии 30—50 *мм* друг от друга). При совпадении их резонансных частот генерация контура сорвется или сильно уменьшится, так как антенный контур контрольного приемника на своей резонансной частоте будет отсасывать энергию от настраиваемого контура. При этом следует помнить, что чем ближе друг к другу оба контура, тем сильнее этот эффект, но и тем сильнее оба контура расстраивают друг друга из-за взаимного влияния ферритовых сердечников. Поэтому, обнаружив срыв генерации при близком расположении контуров, следует постепенно при подстройке по возможности дальше их разнести. Чувствительность такой индикации повышается при слабой генерации контура, у границы срыва Если контрольный приемник супергетеродинного типа, то точность такой настройки уменьшается из-за неточности сопряжения настроек входного и гетеродинного контуров, так как настройка приемника определяется гетеродином.

На частоту настройки контура заметно влияют близкорасположенные металлические предметы, поэтому при макетировании производится лишь грубая настройка и на более низкие частоты, чем нужно. Точная настройка производится после полной сборки приемника и установки его в корпус вместе с громкоговорителем, батареей и всеми другими деталями.

В двухконтурном приемнике сначала настраивается входной контур, а по нему затем и второй. Для выравнивания минимальных емкостей контуров к ним подсоединяются подстроечные конденсаторы, которыми ведется сопряжение настроек на высокочастотном конце диапазона, а на низкочастотном конце подстройка производится за счет индуктивностей. Обе границы диапазона подстраиваются постепенно и поочередно, так как настройка одной границы влияет на положение другой.

КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРИЕМНИКА

КОМПОНОВКА

Конструкции приемников (и других электронных приборов) можно разделить по компоновке элементов на модульные, блочные и панельные. Модульная конструкция собирается из отдельных модулей — небольших обособленных функциональных узлов (например, отдельных каскадов). Каждый модуль оформляется в виде отдельного законченного элемента с определёнными параметрами, что позволяет собирать из них сложные конструкции без дополнительной подрегулировки.

Любительские модули собирают из обычных деталей в виде небольших плат обычной конструкции (плоские модули) или между двумя платами (объемные модули), образуя как бы «бутерброд»,

что дает возможность повысить плотность монтажа за счет вертикального размещения деталей и использования одновременно обеих плат, которые облегчают соединение элементов внутри модуля и уменьшают длину соединительных проводников. Промышленные модули аналогичной конструкции обычно бывают залиты изолирующей массой и заключены в металлические чехлы-экраны, что значительно увеличивает надежность и уменьшает паразитные обратные связи между соседними модулями.

Основным преимуществом модульной конструкции является возможность конструирования всего приемника не из множества отдельных элементов, которые нуждаются ввиду значительного разброса параметров в трудоемком подборе и регулировке, а из сравнительно небольшого количества хорошо отработанных узлов с известными параметрами, взаимно согласованными. Конструирование и монтаж аппаратуры из готовых модулей значительно упрощается и ускоряется, облегчается переход с одной схемы на другую. В полной мере эти преимущества реализуются в промышленном производстве. Радиолюбитель за неимением готовых модулей, вынужден порой сам их разрабатывать и изготовлять, причем обычно в единичных экземплярах, вследствие чего основные преимущества модульной конструкции теряются. В радиоклубах и кружках, где однотипные модули могут требоваться десятками и где каждый модуль может быть хорошо отработан опытными любителями, а изготовляться и применяться менее опытными, их применение позволит даже начинающим конструкторам собирать хорошие и разнообразные приемники.

Блочная конструкция состоит из блоков — законченных частей, полностью выполняющих определенную функцию в приемнике или другом приборе (например, современные промышленные унифицированные телевизоры состоят из блоков — переключателя телевизионных каналов, усилителя промежуточной частоты, разверток, силового и т. д.). Блоки могут состоять и из модулей. Удобство блочной конструкции состоит в том, что для ремонта или изменения схемы достаточно заменить один блок, практически не прерывая работы приемника в целом, а внутри блока существует гораздо большая свобода действия, чем внутри модуля. Существенно облегчаются разработка, наладка, монтаж и модернизация сложного приемника, уменьшаются паразитные связи между блоками, особенно если они экранированы или удалены друг от друга. Блоки, естественно, должны быть согласованы между собой и заменяться без дополнительных подгонок и регулировок остальных блоков, не заменяемых в данный момент.

Преимущества блочной конструкции особенно ценны для тех радиолюбителей, которые всегда стремятся к улучшению уже готовых приемников, — путем постепенной замены блоков можно непрерывно и без особого труда воплощать в постоянно действующую, имеющую законченный вид и пригодную к нормальной эксплуатации конструкцию большинство своих новых идей. Недостаток такой постоянно меняющейся конструкции состоит в необходимости иметь запас по размерам приемника в целом и каждого блока в отдельности. Но в случае необходимости наиболее удачный вариант, прошедший испытания в блочной конструкции, легче перевести в миниатюрное исполнение, чем сразу делать малогабаритную конструкцию.

В панельной конструкции почти все детали, узлы и более сложные части схемы смонтированы без четкого разделения, на одной

плате. Этот вид компоновки требует особо тщательно продуманной монтажной схемы, так как паразитные связи между элементами схемы при плотном монтаже проявляются гораздо сильнее, а вносить изменения в готовую конструкцию очень трудно. Наиболее целесообразна такая компоновка для самых простых и особенно малогабаритных приемников, которые легко пересобрать заново или которые вообще не рассчитаны на реконструкцию.

ВИДЫ МОНТАЖА

Наиболее прост в исполнении навесной монтаж, но он наименее надежен и неудобен при отыскании неисправностей, реконструкции и ремонте. Обычно такой монтаж сводится к спайке соответствующих выводов деталей и прикреплению наиболее крупных из них к плате. При этом велика опасность замыкания голых выводов элементов схемы между собой и с окружающими металлическими деталями, разрушения выводов при монтаже или при вибрации во время эксплуатации приемника. В путанице проводов и выводов легко ошибиться, а снимаемые при разборке схемы детали легко повреждаются. Поскольку их выводы изогнуты и обрезаны под случайный размер, вторично использовать эти детали трудно. Такой монтаж оправдан только для простейших конструкций, состоящих из немногих деталей.

Удобнее монтировать детали, подпаивая их выводы и соединительные проводники к опорным штырькам или пистонам. Штырьки изготовляют из луженого медного голого провода диаметром около 0,8 *мм*. Для этого отрезки провода длиной около 6 *мм* плотно вставляют в отверстия платы и слегка обжимают около самой ее поверхности сверху и снизу для лучшего закрепления. К верхним более длинным (около 3—4 *мм*) концам подпаивают выводы мелких деталей, а нижние соединяют проводниками согласно схеме. Крупные детали тем или иным способом закрепляют на плате и подсоединяют промежуточными проводниками. Выводы деталей при таком монтаже обрезают под определенный размер (в зависимости от высоты их и корпуса приемника), поэтому их можно без дополнительной подготовки использовать снова в аналогичной конструкции. Монтаж на штырьках неудобен тем, что к каждому из них трудно подпаять более одного вывода, а при пайке соединительных проводников вывод детали с противоположной стороны платы отпаивается. Поэтому удобнее сначала подпаять все соединительные проводники, закрепив их концы закруткой, а затем выводы деталей.

Монтаж на пистонах отличается тем, что выводы и проводники вставляют в отверстие пистона, расклепанного на плате, и пропаивают. Изготовление и установка пистонов более трудоемки, они занимают на плате больше места, но монтаж на них гораздо более удобен и надежен.

Наилучшим видом монтажа среди многих любителей считается печатный. Он характерен тем, что соединительными проводниками являются полоски медной фольги, приклеенной к изолирующему основанию. Для изготовления печатной платы необходим фольгированный (т. е. оклеенный с одной или обеих сторон медной фольгой) текстолит или гетинакс. На поверхность фольги кислотостойкой краской наносят линии, соответствующие соединительным проводникам, незакрашенные места стравливают специальными растворами. Выводы деталей специально формуют, чтобы они не проваливались

в отверстия платы, вставляют в эти отверстия с нефольгированной стороны и подпаивают к фольге с другой стороны платы.

Подробные описания этих методов монтажа часто встречаются в радиолюбительской литературе и поэтому они описаны здесь лишь вкратце.

Несмотря на большую популярность печатный монтаж нельзя все же признать наиболее целесообразным для радиолюбителей из-за присущих ему недостатков именно с любительской точки зрения. Этот вид монтажа разработан и приспособлен специально для за-

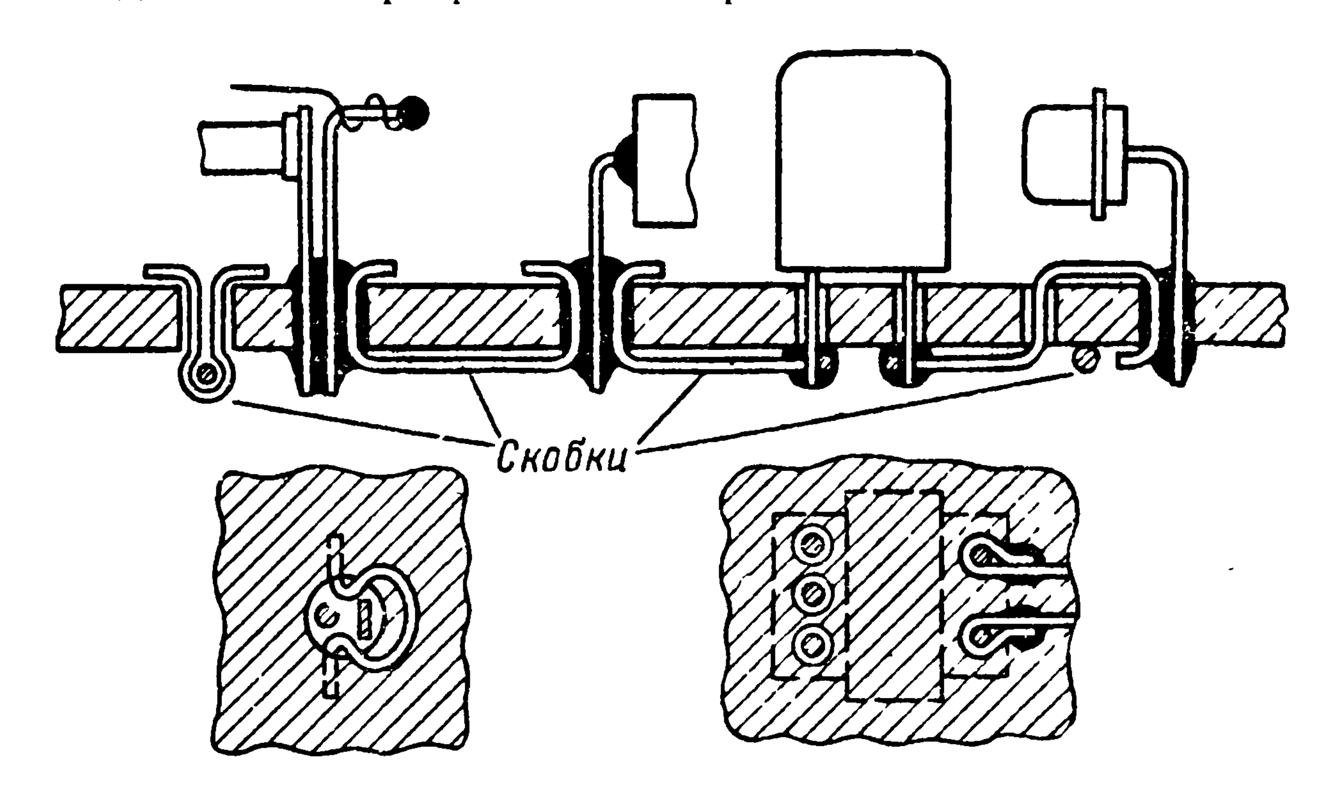


Рис. 13. Приемы монтажа на скобках.

водского, т. е. механизированного крупносерийного и массового производства, где основные процессы монтажа (нанесение рисунка схемы, травление, сборка и пайка) производятся на конвейере и часто автоматически. Любительская конструкция обычно выполняется в единственном (для данного любителя) экземпляре вручную в домашних условиях, поэтому трудоемкость повторения промышленного процесса чрезмерно велика. Печатный монтаж не допускает пересечения печатных проводников на одной стороне платы, тем самым значительно затрудняется составление монтажной схемы; почти полностью исключает возможность изменения готовой конструкции; требует малодоступного фольгированного материала и реактивов. Имеется и ряд других, менее существенных недостатков, присущих частично и промышленному производству.

Любители иногда видоизменяют этот вид монтажа, например, вместо травления срезают лишнюю фольгу, наклеивают на плату уже вырезанные из фольги проводники и т. п. Наиболее удачна в этом отношении замена фольги проводом. Но использование провода с накруткой его на выводы деталей не исключает необходимости в формовке выводов и очень затрудняет необходимый в некоторых случаях монтаж соединительных проводников с другой стороны платы.

Гораздо более удобен и целесообразен в любительских условиях монтаж на скобках из провода, который описывается подробнее (см. также рис. 13).

Для монтажа на скобках в плате сверлят отверстия для выводов деталей (в одно отверстие может быть помещено несколько выводов), края которых с обеих сторон платы слегка зенкуются (скорее, заваливаются) более крупным сверлом. Соответствующие отверстия соединяют проводником — луженым проводом диаметром 0,35—0,45 *мм*, изогнутым согласно монтажной схеме. Сам провод располагают вплотную к плоскости платы, его концы вводят в соединяемые отверстия и загибают с противоположной стороны платы, как скрепки в тетради. Выходящий на другую сторону платы конец проводника должен быть не менее чем на 0,1—0,2 *мм* длиннее диаметра отверстия. Если проводник слишком длинен и изогнут, для большей жесткости он может быть закреплен в удобном месте клеем или хомутиком из того же провода, концы которого вводят в специальное отверстие платы и также разгибают наподобие греческой буквы омега (Ω).

В одно отверстие платы должно плотно вставляться не менее трех проводников, например два вывода и один соединительный; в противоположном случае в это отверстие должен быть вставлен упомянутый ранее омегаобразный хомутик из провода диаметром 0,35—0,30 *мм*, концы которого и петельку загибают вдоль обеих плоскостей платы. Еще удобнее применить небольшую полоску мягкой медной фольги, ширина которой равна диаметру отверстия, а длина — толщине платы с прибавкой примерно удвоенного диаметра этого отверстия. Фольга должна быть залужена с одной стороны тонким слоем припоя. Такую полоску фольги вставляют симметрично в отверстие платы и ее концы загибают в виде скобки луженой частью наружу. Затем в отверстие вставляют тонкое шило и им обминают фольгу по стенке отверстия, а концы полоски должны лечь на плоскости платы. Таким образом, получается как бы 1/3 пистона, разрезанного вдоль оси.

Толщина платы должна быть не менее 1,0 *мм*.

Все эти меры нужны для увеличения поверхности соприкосновения спаиваемых проводников и образования капиллярного канала между ними, который хорошо всасывает расплавленный припой. Для облегчения пайки очень полезно непосредственно перед установкой деталей обновить полуду их выводов и концов соединительных проводников, применяя в случае необходимости теплоотвод. Выводы трансформаторов и катушек с термически нестойким материалом каркаса вставляют в отверстия платы без фольги и проволочных скобок, конец соединительного проводника в этом случае обводят вокруг вывода петелькой и паяют в одно прикосновение. Так же нужно подсоединять и выводы деталей, устанавливаемых на плату вплотную к ее поверхности, чему скобки могут помешать. Свободный конец петельки должен быть достаточно длинен, чтобы при демонтаже его можно было легко подцепить жалом паяльника и быстро разогнуть одновременно с расплавлением припоя.

Монтаж на скобках механически более надежен, чем печатный, нетрудоемок в домашних условиях, не требует дефицитных материалов и специального инструмента, а также позволяет сравнительно легко вносить изменения в готовую конструкцию — для этого нужно лишь просверлить новые отверстия и заменить соединительные проводники. В случае необходимости они могут пересекаться как по разные стороны платы, так и с одной стороны, если применить изолирующие трубочки или прокладки. Сами проводники могут иметь

цветную изоляцию, что значительно облегчает ориентировку в монтаже.

Практически все исправные детали после демонтажа можно использовать вновь.

При любом способе монтажа крупные детали крепятся пистонами, заклепками, винтами, клеем, хомутиками из жести, фольги и провода, резиновыми кольцами и т. п. Тонкие провода — выводы катушек — подпаивают с накруткой к специальным стойкам-штырькам из жесткого провода, заранее вместе с остальными мелкими деталями впаянным в отверстия платы. Ферритовые сердечники должны крепиться без больших механических усилий, без металлических деталей, образующих замкнутое кольцо вокруг сердечника. Очень удобно, если все элементы схемы установлены только на плате (или нескольких платах поблочно). Установка части деталей на корпусе приемника сильно затрудняет наладку и всякое вмешательство в схему, понижает надежность из-за перегибов соединительных проводников. Неизбежное удлинение этих проводников приведет к увеличению опасности самовозбуждения из-за паразитных связей.

СОСТАВЛЕНИЕ МОНТАЖНОЙ СХЕМЫ

Общие принципы. Качество работы любого приемника зависит не только от принципиальной схемы, но и в значительной мере от размещения его элементов на монтажной плате, т. е. от монтажной схемы. Монтажная схема определяет также размеры приемника, удобство изготовления и пользования им. Таким образом, к составлению монтажной схемы необходимо отнестись не менее серьезно, чем к выбору и составлению принципиальной схемы.

Составление монтажной схемы производят после отработки принципиальной схемы на макете, подбора всех деталей и материалов, выбора вида компоновки и монтажа. Если для приемника не используют уже готовый корпус, то выбирают его желаемую форму и ориентировочные размеры, расположение ручек управления, шкалы, разъема корпуса и т. п.

Размещать на плате все детали, как крупные, так и мелкие, следует с учетом их электрических и магнитных полей.

Катушка индуктивности, прежде всего с незамкнутыми ферромагнитными сердечниками ,весьма чувствительна к близко расположенным металлическим деталям и магнитным полям других катушек, особенно если оси катушек параллельны. Металлы и постоянные магнитные поля уменьшают индуктивность и добротность катушек вплоть до полной расстройки налаженной на макете схемы. Магнитная связь с другими катушками приводит к образованию паразитных обратных связей — положительных и отрицательных, которые могут в еще большей степени нарушить работу приемника. Электростатическая (емкостная) связь между высокочастотными цепями также создает обратные связи. Уменьшение размеров приемника способствует возникновению и усилению всевозможных паразитных связей, поэтому чем меньше опыта у радиолюбителя, тем больше должны быть размеры его приемника.

Чтобы при панельной компоновке свести нежелательные связи к минимуму, следует все элементы каждого каскада монтировать рядом, не перемежая с деталями других каскадов, а каскады стараться разместить последовательно, как они идут по принципиальной схеме. Если на плате имеется свободное место, то лучше использо-

вать его не для равномерного рассредоточения всех деталей, а для разделения несоседних по схеме каскадов. Таким образом, схема размещается как бы неявно выраженными модулями и блоками на общей плате. В случае необходимости эти свободные промежутки могут быть использованы для установки экранов и дополнительных фильтров. Все соединительные проводники между элементами схемы каждого каскада и каскадов между собой должны иметь минимальную длину и не располагаться между собой близко, особенно параллельно. Каскады следует соединять друг с другом минимальным числом проводников, чтобы по одному проводнику не протекали токи двух каскадов, а лучше — и токи разных цепей одного каскада. В частности, шунтирующие конденсаторы, особенно высокочастотные, необходимо подсоединять непосредственно к шунтируемым элементам, чтобы высокочастотные токи не «блуждали» по всей схеме, создавая нежелательные связи. Путь для токов высокой частоты должен быть геометрически кратчайшим.

Наибольшее внимание следует обратить на входные цепи (магнитную антенну) как наиболее чувствительные ко всякого рода сигналам — и полезным, и паразитным, а также на последний каскад усилителя высокой частоты и детекторный. В цепях этих каскадов проходит самый сильный высокочастотный ток данной схемы, и опасность просачивания его в другие каскады особенно велика. Иногда приходится целиком экранировать эти каскады, а между детектором и усилителем низкой частоты включать дополнительный *RC*-фильтр. При макетировании обычно такой необходимости не возникает, но ее всегда необходимо иметь в виду при плотном монтаже и предусматривать на плате место для их установки. При разработке монтажной схемы следует помнить, что гораздо легче и быстрее произвести несколько крупных изменений на бумаге, чем одно маленькое в готовом приемнике, особенно в малогабаритном.

Метод аппликаций. Метод аппликаций (наложений) основан на моделировании платы ее чертежом, а всех деталей — их плоскими бумажными силуэтами.

Из плотной бумаги с наклеенной миллиметровкой вырезают в натуральном, а лучше — в удвоенном масштабе силуэты всех деталей приемника, в том виде, каком они проецируются на плату (вид сверху). Нужно учесть также возможность установки их в различном положении — вертикальном, горизонтальном и т. п. Силуэты наиболее крупных деталей — громкоговорителя, батареи и других — изготовляют и в боковых проекциях. Все силуэты должны изображать детали с выводами и элементами крепления, поскольку они занимают площадь на плате. На каждом силуэте чернилами подписывается тип детали (например, УЛМ, Д9, «Крона» и т. д.) и карандашом ее обозначение по данной схеме (например, R_8, $Д_1$) — эти силуэты могут быть использованы многократно. Также чернилами обозначаются полярность или электроды детали.

На миллиметровой бумаге (удобнее другого цвета) вычерчивают контур платы всего приемника или отдельного блока в том же масштабе. На нем намечают контуры вырезов, мест крепления к корпусу и другие участки, где не могут быть размещены какие-либо детали. Это диктуется конструкцией корпуса и размещением деталей, положение которых не подлежит изменению. Если будет использован готовый корпус, то эта разметка наносится нестирающимися линиями — шариковой ручкой, чернилами и т. п., поскольку вносить здесь изменения нельзя. Если готового корпуса нет, то ка-

рандашом, чтобы можно было вносить изменения и проверять разные варианты. Грубо оценить требуемые размеры платы можно, сложив силуэты всех деталей в виде прямоугольника вплотную друг к другу и умножив полученную площадь на 1,5—2.

На свободном пространстве чертежа платы размещают сначала силуэты наиболее крупных деталей, при этом возможно и частичное перекрытие некоторых силуэтов — например, батарея может быть размещена над диффузором громкоговорителя, конденсатор переменной емкости (с ручкой или шкивом верньера) — над или под магнитной антенной. Для уточнения их взаимного положения в этом случае нужно воспользоваться силуэтами боковых проекций этих деталей и контуром боковой стенки приемника с учетом толщины платы и стенок. Размещая органы управления, необходимо учитывать удобство пользования соответствующими ручками, их величину и возможность установки смонтированной платы в корпус. Приемник по возможности не должен иметь резко выступающих за корпус частей (ручек управления и т. п.), которые затрудняют пользование приемником и часто бывают причинами поломок соединенных с ними деталей. От размещения деталей зависит и конструкция корпуса — места прорезей, шкалы, решетки для громкоговорителя, разъема и т. п., причем корпус должен сохранять достаточную прочность. На чертеж платы следует нанести карандашом те места на плате, на которых уже нельзя разместить никаких других деталей.

При размещении крупных деталей может выясниться, что принятые ранее размеры и форма платы не позволяют сделать это достаточно рационально. В этом случае контур платы изменяют с учетом имеющихся возможностей. Если используют готовый корпус, то может потребоваться и изменение типа какой-либо детали. После того как будет найдено наилучшее расположение крупных деталей, их контур обводится карандашом, а бумажные силуэты удаляются.

Далее легкими карандашными линиями намечают приблизительные границы важнейших частей схемы и отдельных каскадов внутри них. В этих границах размещают покаскадно силуэты соответствующих деталей с учетом максимального сближения соседних по схеме деталей и удобства прокладки соединительных проводников. Для подсоединения деталей, не монтируемых на плате, предусматривают места закрепления гибких проводников. Они должны быть закреплены вместе с изоляцией, иначе между местом окончания изоляции и точкой закрепления медной жилы жесткость провода будет резко уменьшена и при перегибах жила быстро поломается. При размещении силуэтов уточняют границы отдельных частей схемы и каскадов. Может оказаться, что не удается разместить надлежащим образом все мелкие детали при намеченном ранее расположении крупных, тогда придется вновь изменять это расположение, а возможно, и контур платы до получения приемлемых результатов. Разместив все детали, следует нанести их контур на чертеж платы карандашом, четко отметив места расположения выводов.

Далее на чертеж накладывают кальку (под карандаш) и на нее карандашом наносят линии соединения выводов деталей, т. е. вычерчивают соединительные проводники, с учетом возможных емкостных связей между ними. Если проводники не удастся расположить без пересечения, пунктиром отмечают участки переноса на другую сторону платы. Калька дает возможность перебора вариантов без нарушения ранее сделанного чертежа. Но в случае необходимости этот чертеж также изменяют.

Многие детали могут быть установлены на плате различно, в том числе и одна под другой (что все же нежелательно на случай реконструкции или ремонта); под какой-либо деталью можно пропустить соединительный проводник — все эти возможности могут быть использованы для уменьшения размеров платы и длины соединительных проводников.

Окончательно уточненный чертеж платы перечерчивают нестирающимися линиями начисто в натуральную величину. На нем не нужно наносить контуры деталей и расположение проводников, а только элементы, относящиеся к самой плате — все вырезы, отверстия и т. п.

При этом полезно воспользоваться копировальной бумагой и получить одновременно еще две копии, последнюю из них — на плотной бумаге или тонком картоне. Первую копию используют впоследствии для разметки платы (см. далее), а второй копией, сделанной на картоне, можно воспользоваться для окончательной проверки монтажной схемы. Для этого ее обрабатывают, как плату, — вырезают большие отверстия, прокалывают мелкие. В них вставляют крупногабаритные и выводы мелких деталей и т. д. Получается объемный макет, дающий более наглядное представление о готовой плате. К этому макету можно «примерить» готовый корпус или сделанную из картона его модель. Такое макетирование займет очень немного времени и труда, но зато вероятность ошибок резко уменьшится.

Метод объемного макетирования. Объемное макетирование менее точно и универсально, чем только что рассмотренное плоскостное, но более наглядно. Для объемного макетирования используют натуральные детали или их геометрически равные макеты — детали того же типа, но другого номинала или неисправные, кусочки жесткого пенопласта с вплавленными проводниками-выводами и т. п. Для модели платы лучше всего использовать металлическую или пластмассовую сетку с ячейкой 1 *мм*, чтобы в нее могли войти выводы любой детали. В крайнем случае можно воспользоваться пластинкой поролона толщиной 10—20 *мм*, но с нее трудно будет перенести результаты макетирования, на бумагу.

Сетку нужно поместить на какую-либо открытую сверху коробку или высокую рамку, несколько превышающую размеры платы и с глубиной, превышающей длину выводов деталей, можно поместить также и на соответствующую пластинку поролона. Далее на сетке размещают детали или их заменители, вставляя выводы в ячейки. После нахождения оптимального варианта расположения деталей оно переносится на бумагу (миллиметровку), причем сетка-плата явится в данном случае и координатной сеткой. Если вместо сетки был использован поролон, то для облегчения такого переноса можно около каждого вывода детали поставить маленькую точку чернилами, на кальке относительно точно зарисовать расположение деталей, а затем уточнить их положение по чернильным точкам на поролоне после удаления с него деталей.

Далее вычерчивают, как и раньше, чертеж соединительных проводников и чертеж платы с копиями. Объемное макетирование (вторичное) по копии этого чертежа в данном случае особенно полезно, так как точность первоначального макета, особенно на поролоне, может оказаться недостаточной при плотном расположении деталей.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПЛАТЫ И МОНТАЖ

После окончательной проверки чистовой чертеж платы или лучше его копию наклеивают легко смывающимся клеем на заготовку платы, тем самым на нее наносится точная разметка. Для ее лучшей сохранности при механической обработке полезно перекрыть чертеж прозрачным лаком или клеем, не повреждающим линии чертежа. По получившейся разметке производят всю механическую обработку платы, после чего остатки чертежа смывают, плату промывают и тщательно высушивают. Затем производят окончательную обработку — зенковку, нарезку резьбы, удаление заусенцев и т. д.

На подготовленную таким образом плату устанавливают без пайки все детали, их расположение окончательно уточняется. Затем детали снимают и на плате воспроизводят в соответствии с выбранным способом монтажа соединительные проводники, устанавливают штырьки, пистоны, скобки и т. п. Далее устанавливают детали, требующие при этом значительных механических усилий (например, расклепывание) или большого свободного пространства, а затем уже и остальные детали в соответствии со способом монтажа.

При монтаже на скобках плату укладывают скобками вниз, на нее устанавливают все мелкие детали с обновленными лужением частями выводов. Затем плату с деталями накрывают какой-нибудь плоской пластинкой, переворачивают деталями вниз и укладывают на плоскость стола. Плату фиксируют на нужной высоте прокладками или вспомогательными стойками и, таким образом, все детали выравниваются по высоте. Если некоторые из них должны иметь другой уровень, то их заранее устанавливают с соответствующей прокладкой, например из поролона — если деталь ниже, или позднее отдельно, если она выше. Далее обрезают лишние концы выводов, места паек смазывают флюсом и пропаивают хорошо разогретым паяльником. При хорошей пайке припой должен выступить из отверстия платы с противоположной стороны, что проверяется после пропайки всех точек. Если с другой стороны припой не выступил, пропайку этого соединения повторяют. Паять следует небольшим количеством припоя, иначе он может потечь вниз по выводу детали.

Наиболее подходящим припоем является ПОС-61 (61% олова, остальное свинец с небольшой добавкой сурьмы для повышения текучести) так как он по своему составу очень близок к самой низкоплавкой смеси олова и свинца (температура плавления около 185° С), плавится и твердеет весь сразу, а не превращается в постепенно разжижающуюся (или густеющую при охлаждении) кашицу кристаллов, что заметно ускоряет процесс пайки. Сплавы, содержащие висмут, хотя и более низкоплавки (60—90° С), но менее надежны из-за большой хрупкости.

В качестве флюса удобнее всего применять раствор канифоли (15—20%) в спирте, причем предпочтительнее применять светлые сорта канифоли. Нельзя пользоваться канифолью для смычков — обычно это сплав (соль) канифоли с известью, который не обладает уже необходимыми для пайки свойствами.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПЛАТА

Настоящий радиолюбитель никогда не удовлетворится полученными результатами, у него всегда возникают новые идеи и замыслы, «созревают» на макете новые схемы или улучшенные варианты толь-

ко что полностью законченной конструкции. Но изготовление нового приемника — дело довольно длительное и трудоемкое, включающее кроме творческой работы и чисто механическую. Поэтому проходит довольно много времени, пока радиолюбитель решится начать изготовление нового приемника. Можно, конечно, модернизировать приемник поблочно, но в малогабаритных конструкциях трудно применить блочную компоновку.

Выходом из этого положения может послужить применение платы, оборудованной всеми не сменяемыми от схемы к схеме деталями — громкоговорителем, магнитной антенной, конденсатором настройки, переключателем диапазонов и т. д. — и приспособленной к быстрой и легкой замене мелких деталей и соединительных проводников. В этом случае можно произвести полную замену схемы даже сложного приемника прямого усиления за считанные часы. К такой универсальной плате достаточно один раз изготовить или подобрать готовый корпус и использовать его до полного физического или морального износа.

Универсальная плата отличается от обычной тем, что в ней заранее просверлены отверстия для установки мелких деталей в любом сочетании. Конечно, при этом нельзя достичь той же плотности монтажа, как и на специально разработанной для конкретной схемы плате, но зато облегчаются компоновка и составление монтажной схемы, уменьшаются паразитные связи. Отверстия диаметром 1,1—1,3 *мм* (в такое отверстие плотно вставляются два вывода резисторов УЛМ и один-два соединительных провода) сверлят по всей площади платы с шагом 2,5 *мм*, но эта сетка должна быть повернута на 45°, в результате чего получается двойная сетка 3,5×3,5 *мм* с размещением отверстий в шахматном порядке. Толщина платы должна быть несколько увеличена для сохранения прочности. Большая часть отверстий после сборки даже самой сложной схемы остается неиспользованной, но не бесполезной — свободные отверстия уменьшают акустическое сопротивление платы и улучшают качество звучания приемника.

При составлении какой-либо конкретной монтажной схемы можно воспользоваться дублем платы и на ней произвести объемное макетирование или использовать метод аппликаций на чертеже платы с нанесенной сеткой отверстий. Силуэты деталей должны располагаться так, чтобы выводы деталей приходились на отметки отверстий.

Для сменных деталей должна быть оставлена площадь из расчета на самую громоздкую схему, например — три каскада УВЧ на резисторах (на 1 транзистор — 4 резистора, 2 конденсатора), диодный детектор с удвоением напряжения (2 диода, 2—3 резистора, 3—4 конденсатора), два предварительных каскада УНЧ — один на резисторах, один с трансформаторным выходом (сетка 3,5×3,5 рассчитана на стандартный трансформатор с железом Ш3×6), двухтактный выходной каскад с трансформатором, а также разделительные фильтры и т. д. Еще больше места может занять бестрансформаторный УНЧ с двумя предварительными каскадами и четырьмя транзисторами на выходе, с применением конденсаторов большой емкости. Можно, конечно, ориентироваться на более узкую разновидность схем, но тогда возможности изменения понизятся.

КОРПУС ПРИЕМНИКА

Часто радиолюбители предпочитают использовать готовый корпус от какого-нибудь заводского приемника или подходящую по размерам пластмассовую коробку. Конечно, это значительно уменьшает объем механической работы, а для радиолюбителей, не имеющих слесарных навыков, является единственным выходом. Но готовый корпус жестко диктует форму и размеры приемника, существенно ограничивает варианты компоновки, а иногда и выбор крупных деталей — громкоговорителя, батареи и т. п. Наиболее полно мысли, вкусы и мастерство конструктора могут воплотиться лишь при использовании корпуса собственной конструкции.

Самодельные корпуса чаще всего делают из жестких пластмасс, термопластичных (растворимых в специальных растворителях и размягчающихся при нагревании) — органического стекла, полистирола и его сополимеров, а также термореактивных (нерастворимых и неплавких) — бакелита, эбонита, карболита и т. п.

Корпус из термопластичных пластмасс можно изготовлять выдавливанием из размягченного теплом (в кипятке, минеральном масле или над огнем) листа при помощи специальных приспособлений — матрицы и пуансона, естественно, с соблюдением мер противопожарной безопасности. В простейшем случае матрица представляет собой отливку из гипса или брусок дерева, соответствующий по форме и размерам внутреннему пространству корпуса или его крышке, тщательно отшлифованный и смазанный маслом, мылом или другим веществом, не действующим на пластмассу при температуре формования. В качестве пуансона можно применить рамку из толстой жесткой фанеры или другого жесткого и термостойкого материала. Внутренние размеры рамки должны быть больше наружных размеров матрицы на удвоенную толщину пластмассы. Внутренняя поверхность пуансона должна быть отшлифована и смазана очень тщательно, так как от этого зависит гладкость внешней поверхности боковых стенок корпуса.

Равномерно нагретый до размягчения лист пластмассы быстро укладывают на матрицу и обжимают по ней надвигающимся сверху пуансоном. Затем и матрицу, и пуансон, с пластмассой очень полезно прогреть, не разбирая, до повторного размягчения пластмассы и как можно медленнее охладить — эта операция значительно уменьшает внутренние напряжения, возникающие при деформации начинающей твердеть пластмассы, и существенно повышает прочность корпуса. После полного охлаждения пластмассы корпус снимают с матрицы и дорабатывают.

Менее прочный корпус получается при склеивании из плоских заготовок, но зато эти заготовки могут иметь разный цвет и толщину. Термопластичные пластмассы лучше всего склеиваются раствором их же стружки в подходящем растворителе — органического стекла в дихлорэтане (яд!), полистирола и его сополимеров — в толуоле, целлулоида — в ацетоне. Другие виды клея дают значительно менее прочное соединение. Термореактивные пластмассы можно только склеивать, лучше всего клеем БФ-2 с применением нагревания (при нагревании в уже высохшей пленке, этого клея идут химические процессы сшивки молекул клея и поверхности пластмассы, прочность шва значительно увеличивается). Термореактивные пластмассы, как правило, более хрупки, чем термопластичные, поэтому толщина стенок корпуса из них должна быть больше. При изготов-

лении заготовок для склеивания необходимо очень тщательно подгонять склеиваемые поверхности, так как чем тоньше слой клея, тем прочнее шов. Толщина стенок корпуса определяется механическими свойствами материала и размерами корпуса, она составляет 1—2 *мм* для очень миниатюрных конструкций, 2—3 *мм* для приемников средней величины и 3—6 *мм* для крупногабаритных.

Общий недостаток всех пластмассовых корпусов — плохие акустические свойства. Гораздо лучше акустические свойства у деревянного корпуса, склеенного из дощечек плотного дерева или из фанеры. Готовый деревянный корпус после окраски нитроэмалью и полировки, а особенно после лакировки прозрачным лаком, красив и прочен.

Прежде чем делать корпус, необходимо внимательно продумать его конструкцию — он должен быть механически прочен, удобно открываться и надежно закрываться, полностью смонтированная плата должна легко вставляться в корпус, а батарея питания легко заменяться. При недостатке опыта очень полезно изготовить сначала макет корпуса (а может быть, и несколько вариантов) из толстого картона и на нем отработать расположение и размеры прорезей, место разъема и способ закрепления крышки, практически ощутить удобство формы и размеров, расположения ручек и т. д. При этом удобно предварительно оклеить картон миллиметровкой — она послужит хорошей масштабной сеткой при переносе размеров на заготовки.

При выборе положения, размера и формы отверстия перед громкоговорителем необходимо предусмотреть, чтобы была открыта максимальная площадь диффузора, но отверстие не должно заходить за его границы, иначе образуется акустическое короткое замыкание и качество звука значительно ухудшается. Если декоративная решетка вставляется в вырез корпуса и выходит за границы диффузора, то эти части ее должны быть закрыты с внутренней стороны окрашенной в темный цвет глухой пластинкой. Отверстия и вырезы для ручек управления должны иметь возможно меньшую площадь— это улучшит качество звучания и уменьшит проникновение пыли внутрь корпуса.

Обычно звучание высших частот заметно улучшается, если в задней стенке корпуса будут сделаны небольшие отверстия. Их наилучшее расположение и суммарная площадь во многом определяются конструкцией корпуса и платы, степенью заполнения объема корпуса и т. п., поэтому они должны быть определены экспериментально, лучше на макете корпуса. В этом случае картон, из которого сделан макет, полезно пропитать лаком или клеем, дающим жесткую, твердую пленку, хотя бы раствором канифоли в спирте. Такая пропитка улучшит акустические свойства картона и приблизит их к свойствам пластмассы.

Немаловажное значение для удобства работы с приемником имеют расположение и величина ручек управления. Если ручка настройки непосредственно, без верньера, связана с ротором конденсатора, то она должна иметь возможно больший диаметр, так как при этом улучшаются четкость и плавность настройки. На ручку можно наклеить шкалу настройку или стрелку, а шкалу разместить на корпусе. Удобнее, если шкала отградуирована по частоте или длине волны, но в простейшем случае градуировка может быть относительной, с равномерной шкалой. Даже простейшая шкала настройки существенно облегчает пользование приемником.

Если ротор конденсатора вращается вкруговую, то можно сделать автоматический переключатель диапазонов. Для этого снизу на ручке, на половине длины окружности, делают канавку шириной и глубиной около 1,5—2 *мм* или выступ таких же размеров. Под ручкой, на плате, располагают контактную группу переключателя, срабатывающую при нажатии вниз от ручки. На подвижной пластинке переключателя укрепляют штифт, входящий в канавку ручки. При одном полуобороте ручки штифт входит в канавку и не нажимает на пластинку — контакты разомкнуты, включен один диапазон. При втором полуобороте ручка или выступ на ней нажимает на штифт, контакты замыкаются, включается второй диапазон. Переключение диапазонов должно происходить точно при минимальной и максимальной емкости конденсатора.

Резисторы — регуляторы громкости типа СПЗ-3 имеют довольно несовершенную конструкцию — ось сравнительно быстро разбалтывается, ухудшается контакт с токопроводящим слоем. Для увеличения срока службы резистора он должен укрепляться на плате таким образом, чтобы плоскость ручки скользила по плоскости платы или крышки корпуса (они для этого могут иметь специальные накладки), тогда вертикальные перемещения ручки будут ограничены.

НАЛАЖИВАНИЕ СОБРАННОГО ПРИЕМНИКА

После окончательной сборки может оказаться, что хорошо работавший при макетировании приемник начнет самовозбуждаться. Это является следствием усиления паразитных положительных обратных связей по высокой частоте при сближении всех элементов схемы. Для ликвидации самовозбуждения необходимо выяснить цепи этих связей и затем ослабить их до допустимых пределов.

Прежде всего нужно проверить усилитель низкой частоты. Для этого базу транзистора первого каскада усилителя низкой частоты соединяют с общим проводом конденсатором емкостью 0,025—0,068 *мкф* (керамическим), через который замкнется высокочастотное напряжение, проникшее с детектора. Прекращение самовозбуждения укажет на недостаточную фильтрацию этого напряжения. Другим признаком обратной связи по высокой частоте через УНЧ является зависимость самовозбуждения от положения регулятора громкости.

Если же самовозбуждение при закорачивании входа УНЧ емкостью не прекращается, его источники следует искать в каскадах УВЧ. Сначала нужно определить, проходит ли цепь обратной связи через магнитную антенну. Для этого замыкают накоротко катушку связи с антенной, т. е. она полностью отключается. Если обратная связь осуществлялась через нее, то самовозбуждение прекратится, а если же нет — то обратная связь имеет место между элементами самого УВЧ.

Обратная связь через магнитную антенну может осуществляться магнитным полем ВЧ-дросселей и трансформаторов, особенно если они намотаны не на кольцевых сердечниках или если кольца неоднородны — склеены из частей, имеют трещины и т. п., а также при неравномерной намотке. Такую связь можно распознать по ее изменению при перемещении и повороте катушек относительно антенны. Ликвидировать ее можно заменой катушек на другие, намотанные с учетом этих замечаний или подбором положения катушек, что менее надежно. Можно также экранировать катушки, завернув

их в медную или латунную фольгу или сетку, подсоединенную к общему проводу. Но экран, особенно близкорасположенный, заметно уменьшает индуктивность катушек с сильным внешним магнитным полем. Обратная связь через магнитное поле чаще проявляется на низших частотах диапазона.

Через антенну может осуществляться и электростатическая (емкостная) обратная связь, особенно сильная при близком расположении к ней элементов усилителя. Величина такой связи определяется монтажной схемой, а в готовом приемнике ее можно уменьшить экранировкой усилителя. При слабой обратной связи бывает достаточным экран в виде полоски фольги между антенной и усилителем, подальше от антенны, чтобы не ухудшить ее параметров. При сильной связи приходится экранировать последний каскад УВЧ вместе с детектором или даже весь усилитель. Обратная связь через электростатическое поле обычно проявляется сильнее на высших частотах.

Самовозбуждение в цепи входного контура может возникнуть и без воздействия электрического или магнитного поля на антенну, если входное сопротивление усилителя будет отрицательным. Это возможно при индуктивной нагрузке первого каскада или при паразитных обратных связях между каскадами. В этом случае может помочь включение или уточнение сопротивления резистора между катушкой связи и базой первого транзистора, а также ослабление межкаскадных паразитных обратных связей установкой экранов и уточнением количества витков катушки связи.

Установка экранов между некоторыми элементами схемы может помочь и при других видах паразитных связей внутри усилителя. Для определения места расположения экрана нужно попробовать вставить между подозреваемыми деталями небольшой временный экран. Если характер самовозбуждения при этом изменится, то в исследуемой цепи паразитная связь существует.

Экран должен быть изготовлен из металла с высокой электропроводностью (меди, латуни) и обязательно оклеен тонкой бумагой или покрыт другой изолирующей пленкой, чтобы не замкнуть голые проводники. Постоянный экран подпаивается к специально устанавливаемым стойкам из жесткого провода, соединенным с общим проводом, а временный экран для испытаний заземляется гибким проводником.

Обратная связь может возникнуть и между соединительными проводниками при их неудачном расположении. Выявить такую связь можно по изменению характера самовозбуждения при шевелении проводников изоляционной палочкой или введением между ними пробного экрана. Неудачное расположение проводников следует изменить.

В любом приемнике, особенно малогабаритном, паразитные связи неизбежны и обычно создается несколько цепей различных видов этих связей, как положительных, так и отрицательных. Знак обратной связи иногда, а величина почти всегда зависит от частоты сигнала. В некоторых случаях кроме мер ослабления паразитных связей рациональным размещением деталей и экранированием оказывается полезной компенсация положительных связей отрицательными, специально создаваемыми. Так, в любом усилителе необходимо испытать различные варианты полярности включения катушки связи с антенной, обмоток трансформаторов (в том числе и низкой частоты, для повышения стабильности УНЧ). Отрицательные обратные связи для компенсации положительных могут быть созданы и

специальными цепями, например включением в эмиттер индуктивности при возбуждении на высших частотах или уменьшением емкости блокирующих конденсаторов эмиттерных резисторов — при возбуждении на низших частотах. Сведение влияния всех паразитных связей к допустимому минимуму требует иногда большого искусства любителя, приобретаемого длительным опытом, поэтому начинающему конструктору лучше избегать высокой плотности монтажа, особенно схем с высоким усилением.

Помимо устранения самовозбуждения в собранном приемнике нужно уточнить границы диапазонов, градуировку шкалы и тембр звучания подбором емкости конденсаторов обратной связи по низкой частоте или шунтирующих нагрузку. Подбор этих конденсаторов необходимо производить уже при установке смонтированной платы в корпус, так как качество звучания зависит от корпуса очень заметно. Для облегчения такого подбора можно от соответствующих мест схемы сделать выводы тонким проводом через прорези корпуса для ручек и конденсаторы подсоединить к этим выводам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Матвеев Г. А. и Хомин В. И. Катушки с ферритовыми сердечниками. М., «Энергия», 1967.

Хомич В. И. Ферритовые антенны. М., «Энергия», 1969.

Незнайко А. П. Новые типы конденсаторов. Л., «Энергия», 1970.

Малинин Р. М. Резисторы. М., «Энергия», 1965.

Васильев В. Ф. Радиолюбителю о транзисторах. М., Изд-во ДОСААФ, 1967.

Морозов В. П. Налаживание радиолюбительских приемников на транзисторах. М., Изд-во ДОСААФ, 1970.

Хрестоматия радиолюбителя. Изд. 5-е. М., «Энергия», 1971.

Радиолюбительские конструкции (указатель описаний). Изд. 3-е. М., «Энергия», 1963, 1967, 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

Издательство «Энергия» и редакция МРБ книг не высылают. Литературу по вопросам радиоэлектроники и радиолюбительства можно приобрести только в организациях, занимающихся книжной торговлей.

Публикации о книгах, которые будут издаваться в текущем году, ежегодно печатаются в первых номерах журнала «Радио».

Радиолюбители, живущие в местах, где нет книжного магазина, могут обратиться в республиканские магазины научно-технической книги, имеющие отделы «Книга—почтой».

Азербайджанская ССР — г. Баку, ул. Саратовца—Ефимова, 30
Армянская ССР — г. Ереван, ул. Абовяна, 17, магазин № 1
Белорусская ССР — г. Минск, 5, Ленинский проспект, 48
Грузинская ССР — г. Тбилиси, проспект Руставели, 37
Казахская ССР — г. Алма-Ата, ул. Чайковского, 120
Киргизская ССР — г. Фрунзе, Советская ул., 206, магазин № 1
Латвийская ССР — г. Рига, ул. Ленина, 29
Литовская ССР — г. Вильнюс, проспект Ленина, 29
Молдавская ССР — г. Кишинев, ул. Пушкина, 15, магазин «Штиинца»
Таджикская ССР — г. Душанбе, проспект Ленина, 128, магазин № 4
Туркменская ССР — г. Ашхабад, Хивинская ул., 1
Узбекская ССР — г. Ташкент, 122, Волгоградская ул., 10-а
Украинская ССР — г. Киев, 30, ул. Ленина, 10, магазин № 1. г. Львов, Базарная ул., 10. г. Харьков, 12, ул. Свердлова, 17
Эстонская ССР — г. Таллин, проспект Ленина, 7

Подробно написано откуда можно выписать радиотехническую литературу в журнале «Радио», № 10 за 1971 г. Там же указаны книжные магазины по областям, краям и автономным республикам РСФСР.

Радиолюбителям, проживающим в Сибири, рекомендуется обращаться в *Новосибирск, ул. Станиславского, 6*, или в *Хабаровск, ул. К. Маркса, 23, книжный магазин № 1.*

Рекомендуется заказывать литературу только по плану текущего года. Книги Массовой радиобиблиотеки текущих лет быстро распродаются.

Книги высылаются только наложенным платежом, а по адресу: «*Полевая почта*» и «*до востребования*» — после получения их стоимости и стоимости пересылки.

Герман Алексеевич Ткаченко

Конструирование транзисторных приемников прямого усиления

Редактор В. А. Васильев
Редактор издательства Т. В. Жукова
Обложка художника А. А. Иванова
Технический редактор Л. Н. Никитина
Корректор В. С. Антипова

Сдано в набор 4/XI 1974 г. Подписано к печати 20/III 1975 г.
Т-06513 Формат 84×108[1]/32 Бумага типографская № 3.
Усл. печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 4,74 Тираж 100 000 экз. Зак. 425
Цена 20 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

Отпечатано с матриц в типографии «Красная звезда».
Хорошевское шоссе, 38. Зак. 4059.

Цена 20 коп.